

## CRUX

CRUX Engineering BV

5.1.2.e

5.1.2.e

Tel: +5.1.2.e

Fax: +5.1.2.e

5.1.2.e

www.cruxbv.nl

Opdrachtgever Gemeente Utrecht Stadsingenieurs

5.1.2.E

Postbus 8375

5.1.2.e

Projectnummer 15175

Documentnummer RA15175a

Versie

1

Opgesteld

5.1.2.E

.....

.....

.....

Gecontroleerd

5.1.2.E

.....

Vrijgave

5.1.2.E

.....

Datum

24-04-2015

Rapport [RA15175a1]

Risicoanalyse renovatie walmuren  
Oudegracht te Utrecht

© 2015 CRUX Engineering BV

Niets uit dit drukwerk mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt, in enige vorm op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, microfilm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van CRUX Engineering BV, noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

Documentlocatie:

\\dserver01\Projecten\15175 IBU RA+MP 5.1.2.e 3 en 4 Utrecht\01 RAP\RA15175a1 Risicoanalyse renovatie walmuren Oudegracht.docm

# Inhoudsopgave

1	INLEIDING .....	3
1.1	Algemeen .....	3
1.2	Leeswijzer .....	4
2	UITGANGSPUNTEN .....	5
2.1	Documenten .....	5
2.2	Programmatuur .....	5
2.3	Type walmuren en principe oplossing .....	5
2.4	Principe oplossing .....	7
2.5	Grondopbouw .....	7
2.6	Damwandprofiel .....	8
2.7	Watergang .....	8
2.8	Afstand werfmuur tot walmuur .....	8
2.9	Aanvullende uitgangspunten berekeningen .....	8
2.10	Resultaten monitoring <span style="background-color: black; color: white;">5.1.2.e</span> .....	9
2.11	Locatie .....	10
3	AANPAK OMGEVINGSBEÏNVLOEDING .....	12
3.1	Inleiding .....	12
3.2	Beschouwde invloedsbronnen .....	12
3.2.1	Plaatsen hulpdamwand .....	12
3.2.2	Plaatsen definitieve damwand .....	12
3.2.3	Ontgraving ten behoeve van slopen kademuur .....	12
3.2.4	Verlagen grondwaterstand .....	12
3.2.5	Trekken palenrij bestaande walmuur .....	13
3.3	Doel en methode van de schadevoorspelling .....	13
3.3.1	Doel van de schadepredicties .....	13
3.3.2	Methode der grensrekken .....	13
3.4	Doel monitoring tijdens de uitvoering .....	15
4	BEREKENDE GRONDVERVORMINGEN .....	17
4.1	Algemeen .....	17
4.2	Plaxis model .....	17
4.3	Resultaten berekening .....	18
4.4	Toetsing van de berekende vervormingen .....	20
4.5	Riolering .....	21
5	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN .....	22
5.1	Conclusies .....	22
5.2	Aanbevelingen / additionele risico's .....	22
5.2.1	Geldigheid risicoanalyse .....	22
5.2.2	Trekken palenrij bestaande walmuur .....	22
5.2.3	Bomen .....	22
5.2.4	Werkvolgorde .....	23
5.3	Monitoring .....	23

## Lijst van Figuren

Figuur 1	Gedeelte Oudegracht te Utrecht.....	3
Figuur 2	Bestaande situatie; typen walmuur Ref. [5].....	6
Figuur 3	Principe oplossing "Herstel lage walmuren" [1].....	6
Figuur 4	Principe doorsnede huidige situatie.....	6
Figuur 5	Gehanteerde bodemprofielen (Ref. [5]).....	8
Figuur 6	5.1.2.e Oostzijde.....	10
Figuur 7	5.1.2.e Westzijde.....	11
Figuur 8	5.1.2.e Westzijde.....	11
Figuur 9	Schematisering methode der grensrekken voor verticale verschilzettingen.....	14
Figuur 10	Plaxis model – doorsnede 1.....	17

## Lijst van Tabellen

Tabel 1	Doorsnede 1 – Gehanteerde grondparameters (o.b.v. B16; DKM26; DKM30).....	7
Tabel 2	Doorsnede 2 – Gehanteerde grondparameters.....	7
Tabel 3	Doorsnede 3 – Gehanteerde grondparameters (o.b.v. B21; DKM29).....	8
Tabel 4	Vergelijking tussen predictie en gemeten vervormingen 5.1.2.e.....	9
Tabel 5	Schade classificatiesysteem conform BRE.....	15
Tabel 6	Fasering Plaxis berekeningen.....	18
Tabel 7	Berekende verplaatsing fundering werfmuur – doorsnede 1.....	18
Tabel 8	Berekende verplaatsing fundering werfmuur – doorsnede 2.....	19
Tabel 9	Berekende verplaatsing fundering werfmuur – doorsnede 3.....	19
Tabel 10	Berekende verplaatsing en schade profiel werfmuur.....	21

## Lijst van Bijlagen

Bijlage I	Grondonderzoek
Bijlage II	Plaxis – Fasering
Bijlage III	Plaxis - Gehanteerde grondparameters
Bijlage IV	Plaxis safety factor (phi/c reductie)
Bijlage V	Schadepredictie
Bijlage VI	Selectie monitoringsresultaten 5.1.2.e (Ref. [1] en [2])

# 1 Inleiding

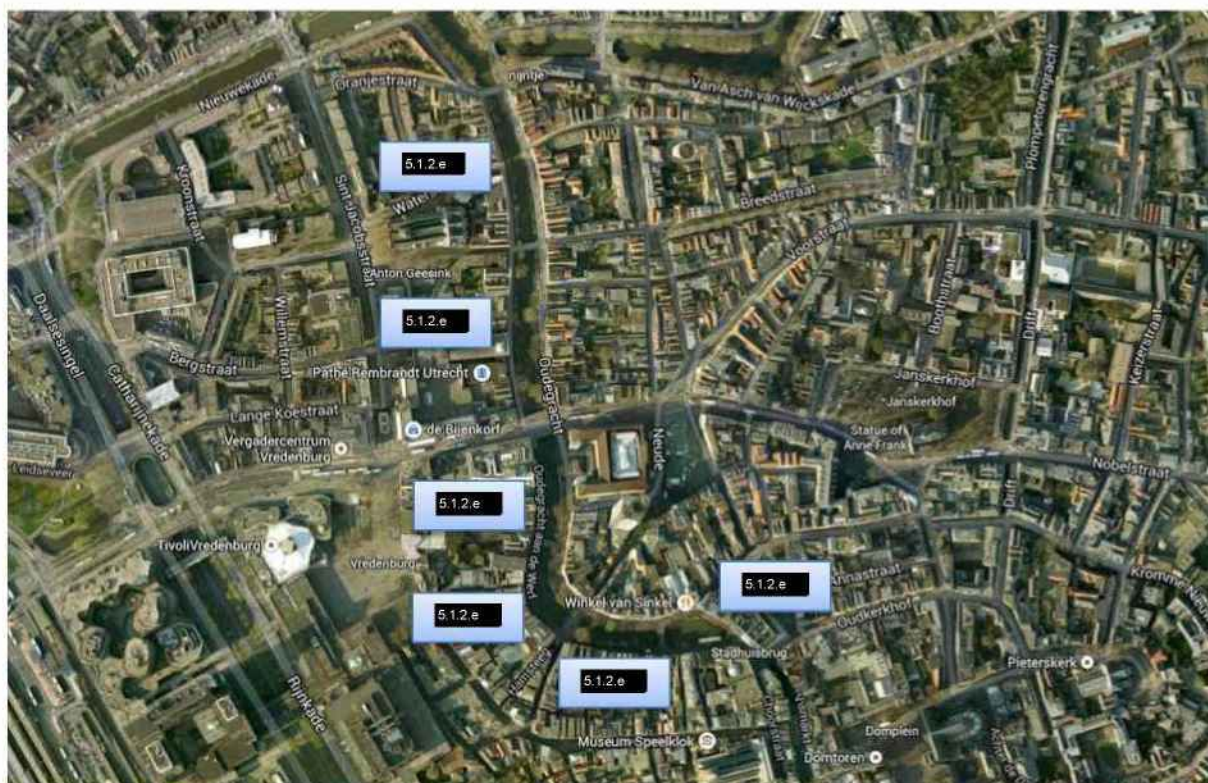
## 1.1 Algemeen

5.1.2.e BV is in opdracht van Gemeente Utrecht Stadsingenieurs een onderzoek uitgevoerd naar de beïnvloeding van de werfmuren aan de Oudegracht te Utrecht ten gevolge van de renovatie van de walmuren. De uitgangspunten en resultaten van de risicoanalyse van de omgevingsbeïnvloeding zijn weergegeven in dit rapport.

De risicoanalyse is opgesteld op basis van de ter beschikking gestelde gegevens van 5.1.2.e oost en 5.1.2.e en 4 west. Er zijn drie doorsneden beschouwd:

- doorsnede 1: aanwezigheid van een dikke veenlaag; bodemniveau gracht NAP -2,5m;
- doorsnede 2: aanwezigheid van een dikke kleilaag; bodemniveau gracht NAP -2,5m;
- doorsnede 3: bodemopbouw bestaande uit zand; bodemniveau gracht op NAP -1,9m.

Doorsneden 1 en 2 zijn te beschouwen als 'worst-case' situaties. Doorsnede 3 is gunstig vanuit het oogpunt van omgevingsbeïnvloeding. De uitgevoerde risicoanalyse is geldig voor alle locaties/rakken welke vergelijkbaar of gunstiger zijn dan de beschouwde doorsneden.



Figuur 1 Gedeelte Oudegracht te Utrecht\*

\* ondergrond © Google and third-party suppliers



Een analyse van de omgevingsbeïnvloeding wordt uitgevoerd om in het ontwerpstadium met de gevolgen van bouwwerkzaamheden in binnenstedelijke omgeving rekening te kunnen houden. Het doel hiervan is om het ontwerp, de keuzes voor de bouwmethodes en mogelijke preventieve mitigerende maatregelen zodanig te optimaliseren, dat de kans op schade rekenkundig beperkt blijft tot aanvaardbare minimale (esthetische) schade aan de bestaande constructies. Op basis van de analyse kunnen alarm- en grenswaarden voor schade veroorzakende bronnen (trillingen, vervormingen etc.) worden bepaald. Deze waarden worden opgenomen in een monitoringsplan.

## 1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de uitgangspunten behandeld. Hoofdstuk 3 gaat in op de gehanteerde aanpak voor de omgevingsbeïnvloeding en de beschouwde invloedsbronnen. Hoofdstuk 4 gaat in op de berekende vervormingen van de belendingen. In hoofdstuk 5 worden ten slotte de conclusies uit de vorige hoofdstukken samengevat en wordt een aantal aanbevelingen gedaan.

## 2 Uitgangspunten

### 2.1 Documenten

De volgende documenten zijn gehanteerd bij het opstellen van dit rapport:

- [1] IBU Stadsingenieurs; *Logboek Meetveld RAK 15*; kenmerk 402.10390 v0.2; d.d. 24 april 2013;
- [2] IBU Stadsingenieurs; *Resultaten monitoring deformaties* 5.1.2.e westzijde; kenmerk 402.10390 v1.0; d.d. 17 september 2013;
- [3] IBU Stadsingenieurs; e-mail *RE: Stvz risicoanalyse reconstructie walmuren Oudegracht (15175)* met als bijlage faseringstekeningen; d.d. 14 april 2015;
- [4] IBU Stadsingenieurs; e-mail *Vervolgfase reconstructie walmuren Utrecht* met als bijlage een overzicht van de verschillen tussen 5.1.2.e en 5.1.2.e 3-4; d.d. 20 februari 2015;
- [5] IBU Stadsingenieurs; e-mail *RE: Vervolgfase reconstructie walmuren Utrecht* met als bijlage het grondonderzoek ter plaatse van 5.1.2.e en 5.1.2.e; d.d. 4 maart 2015;
- [6] IBU Stadsingenieurs; e-mail *RE: Vervolgfase reconstructie walmuren Utrecht* met als bijlage het grondonderzoek ter plaatse van 5.1.2.e; d.d. 9 maart 2015;
- [7] CRUX Engineering BV; Rapport *Risicoanalyse renovatie walmuren* 5.1.2.e /m 5.1.2.e kenmerk RA12172d3; d.d. 9 september 2013;
- [8] CRUX Engineering BV; Rapport *Risicoanalyse restauratie walmuren* 5.1.2.e kenmerk RA10226c1; d.d. 6 oktober 2011.

CRUX staat niet in voor de juistheid en/of volledigheid van de door derden verstrekte informatie en gegevens.

### 2.2 Programmatuur

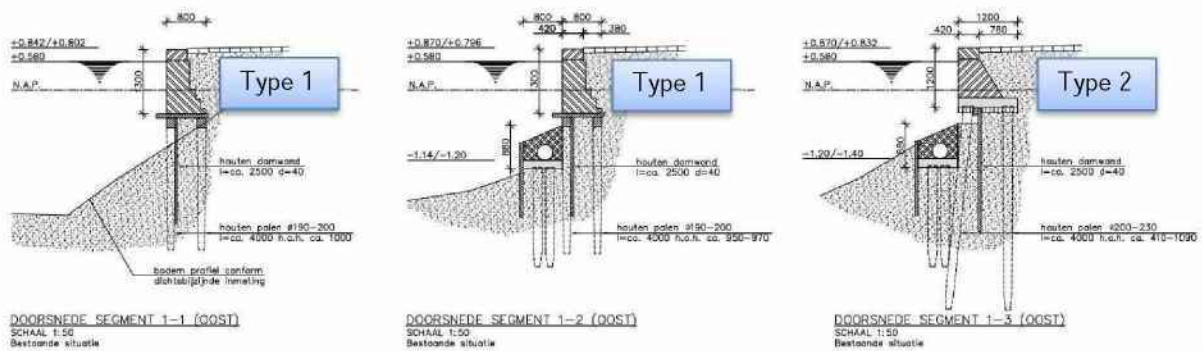
De berekeningen zijn uitgevoerd met het eindige-elementenprogramma Plaxis 2D 2015.

### 2.3 Type walmuren en principe oplossing

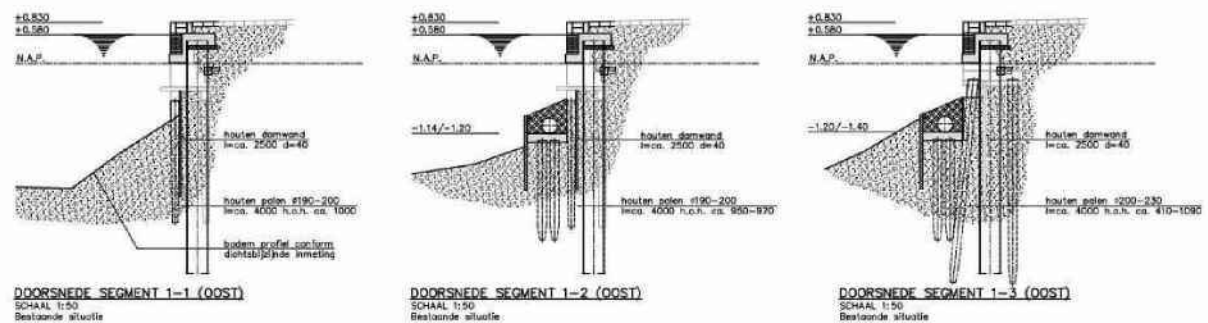
Ter plaatse van de rakken in de Oudegracht worden een tweetal verschillende walmuren aangetroffen, zie Figuur 2. Type 1 dateert uit het einde van de 19e begin van de 20e eeuw en bestaat uit een gewichtsconstructie van metselwerk op een houten kesp en funderingspalen.

Type 2 dateert van na de Tweede Wereldoorlog. De walmuur bestaat uit gewapend beton gefundeerd op houten palen, afgewerkt met metselwerk.

In Figuur 3 is de beschouwde principe oplossing (referentieontwerp) voor het herstel van de lage walmuren weergegeven. De bestaande (op houten palen gefundeerde) walmuur zal worden vervangen door een stalen damwand waarop, met behulp van een betonschort, het metselwerk zal worden aangebracht.

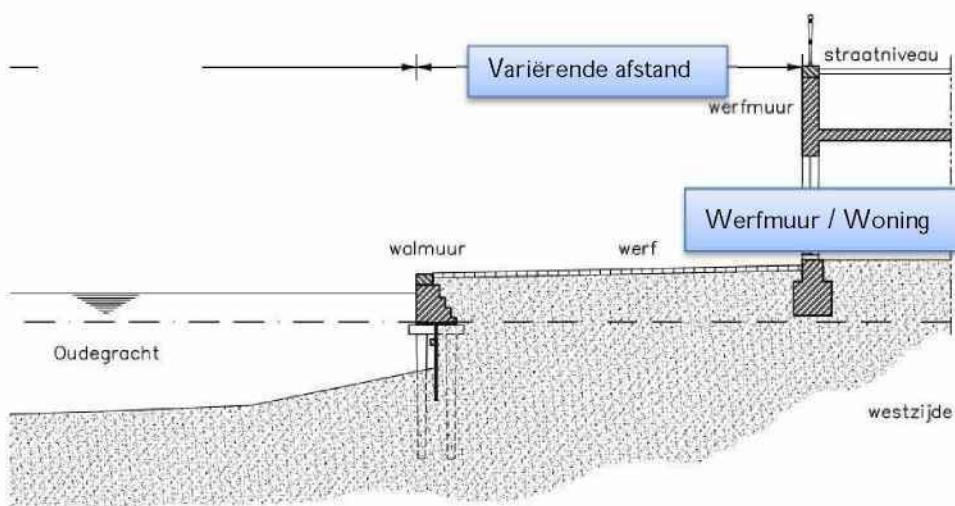


Figuur 2 Bestaande situatie; typen walmuur Ref. [5]



Figuur 3 Principe oplossing "Herstel lage walmuren" [1]

In Figuur 4 is een principe doorsnede van de huidige situatie weergegeven. Voor de omgevingsbeïnvloeding is voornamelijk de afstand tussen de walmuur en de dichtstbijzijnde belending (werfmuur / woning) en de funderingswijze en funderingsbelasting van de belending van belang. In de jaren '80 van de vorige eeuw is de riolering in de gracht aangebracht.



Figuur 4 Principe doorsnede huidige situatie

## 2.4 Principe oplossing

In de principe oplossing wordt de grondkerende functie en het verticaal draagvermogen van de walmuur verzorgd door een stalen damwand.

Globaal wordt voor de principe oplossing de volgende werkvolgorde aangehouden:

- drukken van hulpdamwand in gracht;
- slopen bestaande walmuur tot aan de houten paalfundering (droog);
- drukken van definitieve damwand tussen de bestaande houten paalfundering;
- aanbrengen betonschort en aanbrengen metselwerk;
- ruimte tussen de hulpdamwand en de walmuur/riolering opvullen met beton en afbranden van de hulpdamwand in de gracht;

## 2.5 Grondopbouw

De grondparameters zijn via correlaties vastgesteld aan de hand van de conusweerstand uit de sonderingen en tabel 2.b uit NEN 9997-1+C1:2012. Ter plaatse van doorsneden 1 en 2 zijn, vanwege de stabiliteit in de huidige situatie, voor respectievelijk de veen- en kleilagen voor de cohesie bovengrenswaarden uit tabel 2.b gehanteerd.

De gehanteerde parameters zijn weergegeven in 5.1.2 e tot en met Tabel 3.

Tabel 1 Doorsnede 1 – Gehanteerde grondparameters (o.b.v. B16; DKM26; DKM30)

Naam	bk laag m NAP	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	5.1.2 a [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kPa]	$\varphi'$ [graden]	$E'_{50;ref}$ MPa	$E'_{oed;ref}$ MPa	$E'_{ur;ref}$ MPa
01 Zand, los	+1,1	17	19	0	30,0	39	39	155
02 Klei, zw zandig	+0,5	15	15	1	22,5	8	4	32
03 Veen	+0,0	10,5	10,5	5	15,0	5,8	2,9	30
04 Klei, slap	-2,0	14	14	5	17,5	5,8	2,9	30
05 Zand, los	-3,0	17	19	0	30,0	23	23	92
06 Klei, slap	-4,0	14	14	5	17,5	8	4	49
07 Zand, los	-4,5	17	19	0	30,0	29	29	114
08 Zand, matig	-12,0	18	20	0	32,5	38	38	153

Tabel 2 Doorsnede 2 – Gehanteerde grondparameters

Naam	bk laag m NAP	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	5.1.2 e [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kPa]	$\varphi'$ [graden]	$E'_{50;ref}$ MPa	$E'_{oed;ref}$ MPa	$E'_{ur;ref}$ MPa
01 Zand, los	+1,0	17	19	0	30	29	29	114
02 Klei, zw zandig	+0,0	15	15	2	22,5	7	5,4	35
03 Klei, st zandig	-5,0	18	18	2	27,5	8	8,1	40
04 Zand, matig	-6,5	18	20	0	32,5	43	43	170



Tabel 3 Doorsnede 3 – Gehanteerde grondparameters (o.b.v. B21; DKM29)

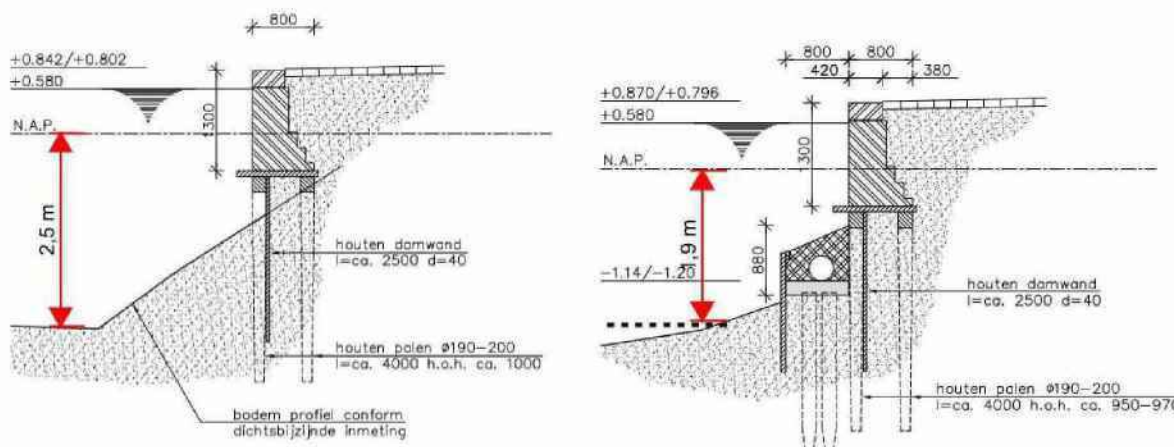
Naam	bk laag m NAP	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\sigma'_{124}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [graden]	$E'_{50;ref}$ MPa	$E'_{oed;ref}$ MPa	$E'_{ur;ref}$ MPa
01 Zand, los	+1	17	19	0	30,0	25	25	100
02 Zand, los	-3,5	17	19	0	30,0	30	30	120
03 Zand, matig	-7,5	18	20	0	32,5	40	40	160

## 2.6 Damwandprofiel

Voor de damwanden is uitgegaan van AZ18-700 damwandprofielen met een puntniveau van respectievelijk NAP -9,0m (damwand walmuur, Ref. [4]) en NAP -8,5m (hulpdamwanden in de gracht, Ref. [3]). De damwanden worden trillingsvrij (drukkend) ingebracht.

## 2.7 Watergang

Het gewenste bodemniveau van de Oudegracht bedraagt NAP -1,9m, Ref. [4]. Het is bekend dat de gracht lokaal dieper is. In de berekeningen is derhalve uitgegaan van een waterbodemniveau van NAP -2,5m (doorsneden 1 en 2) op een afstand van 3,0m van de voorzijde van de walmuur en een bodemniveau van NAP -1,9m (doorsnede 3) op 1,2m afstand van de voorzijde van de walmuur.



Figuur 5 Gehanteerde bodemprofielen (Ref. [5])

## 2.8 Afstand werfmuur tot walmuur

De afstand van de werfmuur tot de walmuur heeft logischerwijs grote invloed op de mate waarin de werfmuur door de werkzaamheden wordt beïnvloed. In de berekeningen is, in overleg met de opdrachtgever, uitgegaan van een minimale afstand van 3,0m tussen de werfmuur en de walmuur. De werfmuur ligt, ter plaatse van bijvoorbeeld rak 1, 3 en 4, over het algemeen op grotere afstand van de walmuur (4m-6m).

## 2.9 Aanvullende uitgangspunten berekeningen

Onderstaande uitgangspunten zijn gehanteerd ten behoeve van de berekeningen.

- (Grond)waterstand NAP +0,58m;
- Voor de aanleg van rioolkisten in 5.12.e Gracht is in de jaren '80 van de vorige eeuw gedurende acht tot negen maanden een bemaling actief geweest voor een bouwkuip waarin de waterstand is verlaagd tot circa NAP -2,30m;
- De hulpdamwand in de gracht wordt afgebrand;
- Er wordt vanuit gegaan dat de belendingen op staal gefundeerd zijn. In de berekeningen is op basis van eerdere rapportages een funderingsniveau van NAP +0,0m aangehouden;
- Funderingsbreedte van de werfmuur is aangehouden op 1,0m;
- Voor de funderingsbelasting zijn op aangeven van de opdrachtgever de volgende waarden aangehouden:
  - UGT belasting 60 kN/m'
  - BGT belasting 44 kN/m'

## 2.10 Resultaten monitoring 5.12.e

Ter plaatse van 5.12.e zijn de walmuren reeds gedeeltelijk hersteld. 5.12.e is in een eerder stadium een risicoanalyse voor deze werkzaamheden opgesteld, zie Ref. [7] en [8]. Gedurende de werkzaamheden (tussen 13 augustus 2012 en 22 april 2013) zijn conform het monitoringsplan metingen uitgevoerd om de invloed van de werkzaamheden op de omgeving te bewaken, zie Ref. [1] en [2]. Een overzicht van de uitgevoerde metingen is weergegeven in Bijlage VI.

Er was ten tijde van het opstellen van de risicoanalyse ten behoeve van 5.12.e onzekerheid over de invloed van het trekken van de hulpdamwand op de omgeving. Uit de uitgevoerde metingen blijkt dat deze invloed gering is geweest.

In Tabel 4 is een vergelijking gemaakt tussen de predictie en de daadwerkelijk gemeten verplaatsing van de werfmuren. Opgemerkt wordt dat de natuurlijke fluctuaties van de meetpunten onbekend zijn. Het is derhalve niet zeker of alle gemeten verplaatsingen veroorzaakt zijn door de werkzaamheden.

Uit de vergelijking blijkt dat de predictie qua ordegrrootte, met name op 4m afstand, goed overeenstemt met de daadwerkelijk gemeten verplaatsingen. De werkzaamheden na het slopen van de walmuur (aanvullen maaiveld; uitzetten bemaling) lijken een kleinere invloed te hebben gehad dan berekend. De berekende vervormingen zijn groter dan de daadwerkelijk opgetreden vervormingen wat betekent dat de grondparameters en geometrie (funderingsbelasting; verloop grachtbodem) voldoende conservatief zijn ingeschat.

De metingen ter plaatse van 5.12.e geven derhalve vertrouwen dat de gekozen methodiek voor de schadepredictie, welke ook in onderhavige risicoanalyse wordt gevolgd voldoende conservatief is.

Tabel 4 Vergelijking tussen predictie en gemeten vervormingen 5.12.e

Afstand tussen walmuur en werfmuur	Predictie vervorming na slopen walmuur		Predictie vervorming na herstel maaiveld		Maximaal gemeten vervorming*	
	Vert. [mm]	Hor. [mm]	Vert. [mm]	Hor. [mm]	Vert. [mm]	Hor. [mm]
4m	-6	3	-9	4	-5,5	4,3
7m	-2	1	-4	1	-1,2	2,7

\*onderzijde werfmuur

## 2.11 Locatie

In Figuur 6 tot en met Figuur 8 zijn enkele foto's weergegeven van 5.1.2.e 3 en 4. Uit de foto's blijkt duidelijk de variërende afstand tussen de walmuur en de werfmuur. Er is tijdens het locatiebezoek geen grote scheurvorming ter plaatse van de werfmuren geconstateerd. Tussen de werfmuur en de walmuur zijn bomen aanwezig waarbij enkele bomen op zeer korte afstand van de walmuur staan.



Figuur 6 5.1.2.e Oostzijde





Figuur 7 5.1.2.e Westzijde



Figuur 8 5.1.2.e Westzijde



## 3 Aanpak omgevingsbeïnvloeding

### 3.1 Inleiding

Door bouwwerkzaamheden in stedelijke omgeving kunnen trillingen en spanningsveranderingen in de grond worden veroorzaakt. De spanningsveranderingen en trillingen in de grond kunnen leiden tot grondvervormingen (zettingen en horizontale vervormingen), die zich in een bepaald invloedsgebied rondom de bouwwerkzaamheden uitstrekken. Bestaande constructies (gebouwen en leidingen) die zich in dit invloedsgebied bevinden, ondergaan via de fundering deze (verschil)grondvervormingen en kunnen daardoor mogelijk schade ondervinden. De mogelijke schaderisico's door zettingen en trillingen dienen, in het kader van een risicoanalyse, middels de huidig ter beschikking staande voorspellingsmethodieken voor iedere project specifieke situatie rekenkundig te worden onderzocht. Hierbij dient rekening te worden gehouden met de grondgesteldheid, de uitvoeringsmethode en het incasseringsvermogen van de belendende constructies (constructietype, conditie en funderingswijze).

### 3.2 Beschouwde invloedsbronnen

De omgevingsbeïnvloeding is uitgevoerd voor de op staal gefundeerde werfmuren. De volgende invloedsbronnen zijn beschouwd:

#### 3.2.1 Plaatsen hulpdamwand

Voor de bestaande walmuur wordt een hulpdamwand geplaatst welke na afloop van het herstel van de zal worden afgebrand. Het plaatsen van deze damwanden in de gracht zal naar verwachting geen vervorming veroorzaken ter plaatse van de belendende panden (invloed door introductie schuifspanningen tijdens het drukken van de damwanden). De riolering kan mogelijk worden beïnvloed door het indrukken van de tijdelijke damwand en de permanente damwand op korte afstand van de palen. Hiervoor is uitgegaan van een verticale zakking van 5mm ter plaatse van de riolering, zie ook paragraaf 4.5.

#### 3.2.2 Plaatsen definitieve damwand

Het valt niet uit te sluiten dat door het inbrengen van de permanente damwand een beperkte grondvervorming optreedt ter plaatse van de belendingen, daarom is een beperkte vervorming in de risicoanalyse meegenomen. Uit ervaringen met vergelijkbare situaties is de verwachting dat hierbij, afhankelijk van de afstand tot de werkzaamheden, rekening moet worden gehouden met een additioneel zettingsaandeel van circa 1mm-5mm. In de risicoanalyse is rekening gehouden met een additionele zakking van 1-2mm ter plaatse van de belendingen op een afstand van circa 3m van de walmuur.

#### 3.2.3 Ontgraving ten behoeve van slopen kademuur

Voor de realisatie van de nieuwe kademuur wordt binnen bouwkuipen ontgraven tot circa NAP -0,9m. De grondvervormingen ten gevolge van de werkzaamheden zijn bepaald met behulp van het EEM programma Plaxis, zie paragraaf 4.3.

#### 3.2.4 Verlagen grondwaterstand

In de berekeningen is rekening gehouden met een grondwaterstandsverlaging ter plaatse van de werf ten gevolge van de bemaling binnen de bouwkuip tot NAP -1,3m. De invloed van deze

grondwaterstandsverlaging is beperkt, aangezien in het verleden al een grondwaterstandsverlaging tot NAP -2,3m heeft plaatsgevonden (bij ontlasten en herbelasten van de grond reageert deze stijver).

### 3.2.5 Trekken palenrij bestaande walmuur

In principe blijft de paalfundering van de bestaande walmuur in de ondergrond achter. Mocht het toch nodig zijn om enkele palen te trekken dan kan dezelfde werkwijze worden gehanteerd zoals deze ook ter plaatse van **§ 1.2 e** is toegepast:

- plaatsen van casing van circa 0,5m om de paal om instorten van het gat te voorkomen;
- trekken van de houten paal;
- het ontstane gat meteen vullen met zand en dit zoveel mogelijk verdichten.

De hoeveelheid zand welke in het ontstane gat kan worden aangebracht, in relatie tot de diameter en lengte van de paal, is een signalering om te controleren dat het gat niet is ingestort. Indien een gat is ingestort moeten, indien meerdere achtereenvolgende palen verwijderd moeten worden, de eerstvolgende palen op een alternatieve manier getrokken worden. Hierbij kan gedacht worden aan het verbuisd trekken van de palen (over de volledige lengte) en de ontstane ruimte vervolgens te vullen met zand of bentoniet/dämmer.

Het wordt bij deze methode opgemerkt dat op de locatie van de getrokken palen later weer een damwand dient te worden aangebracht. Het injectiemiddel dient dus niet zo hard te worden dat dit later weer tot problemen leidt.

## 3.3 Doel en methode van de schadevoorspelling

### 3.3.1 Doel van de schadepredicties

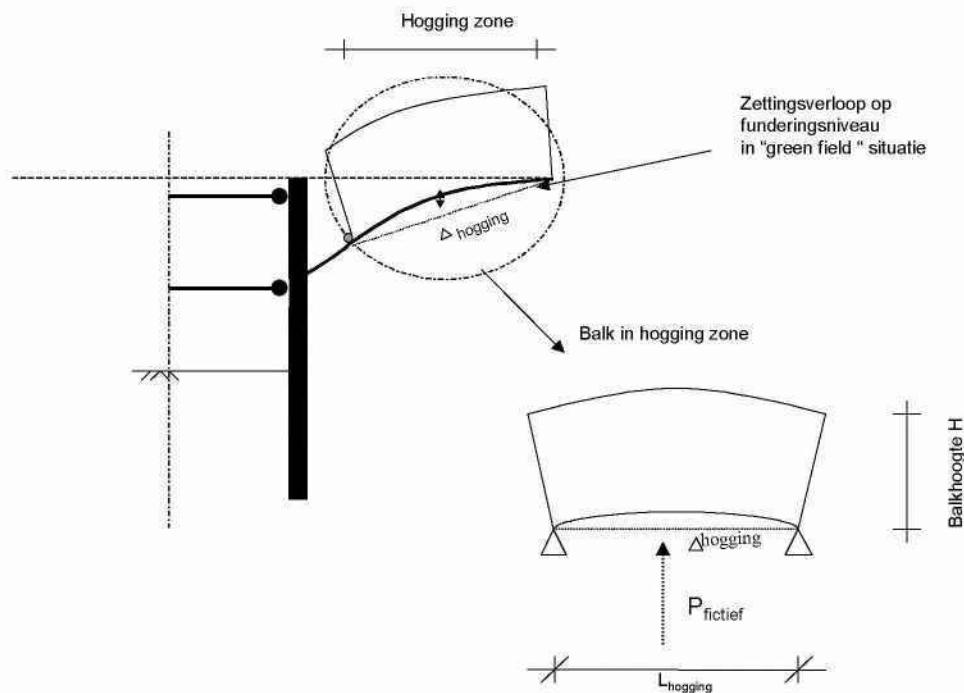
Schadepredicties worden uitgevoerd om in het ontwerpstadium met de gevolgen van omgevingsbeïnvloeding van bouwwerkzaamheden in binnenstedelijke omgeving rekening te kunnen houden. Het doel hiervan is om het ontwerp, de keuzes voor de bouwmethodes en mogelijke preventieve mitigerende maatregelen zodanig te optimaliseren, dat de kans op schade rekenkundig beperkt blijft tot een in de ontwerppraktijk voor binnenstedelijke bouwprojecten als acceptabel geacht minimum. Bovendien wordt de ontwerp kennis uit de schadepredictie in combinatie met monitoring gebruikt voor een proactieve risicobeheersing tijdens de uitvoering.

### 3.3.2 Methode der grensrekken

Met deze empirisch, analytische rekenmethodiek worden maatgevende rekken in het gebouw ten gevolge van de opgelegde verschil(grond)vervormingen bepaald. Het gebouw wordt hierbij vereenvoudigd geschematiseerd door een geavanceerd balkmodel (Timoshenko balk rekening houdend met buig- en afschuifvervormingen). Er wordt geen rekening gehouden met grond - constructie interactie waardoor de methode wordt geacht een conservatieve bovengrens van te verwachten schade weer te geven. Deze empirisch getoetste methodiek geeft een indicatie weer van de mogelijke schadeomvang ten gevolge van de werkzaamheden. De methodiek geeft de state-of-the-art in de ontwerppraktijk in het binnen- en buitenland weer en is succesvol toegepast voor schadepredicties van belendingen bij klein- en grootschalige ondergrondse bouwprojecten in binnenstedelijke omgeving.

De empirisch, analytische "Methode der grensrekken" wordt in dit rapport gebruikt ter bepaling van schade aan belendende panden. De principes van deze methodiek zijn het bepalen van geometrische schadeparameters ("angular distorsion" (relatieve hoekverdraaiing), "deflection ratio" (relatieve

doorbuiging) en horizontale rek uit de greenfield grondvervormingen ter plaatse van het gebouw. Het gebouw (geschematiseerd als een balk) wordt gesplitst in een opbuigingszone (hogging) en een doorbuigingszone (sagging); zie Figuur 9.



Figuur 9 Schematisering methode der grensrekken voor verticale verschilzettingen

Op de als balk geschematiseerde constructie worden de grondvervormingen opgelegd en worden vervolgens met behulp van mechanische formules conform de elasticiteitsleer lineair-elastische rekken berekend. Om met een grote bandbreedte van in de praktijk voorkomende L/H (lengte/hoogte)-verhoudingen van constructie-elementen rekening te houden, wordt daarbij in de balkformules o.a. met afschuifvervormingen rekening gehouden. De berekende rekken worden vervolgens gerelateerd aan empirisch afgeleide observaties tussen rekken en optredende schade. Verschillende mate van scheurvorming zijn met het oog op de mogelijkheid van schadereparatie (scheurreparatie) gerelateerd aan een schade classificatiesysteem van het Building Research Establishment (BRE), zie Tabel 5.

De perceptie van schade is subjectief en duidelijk cultuurgebonden. Vaak worden ook binnen een project verschillende acceptabele niveaus gedefinieerd, die bijvoorbeeld afhankelijk zijn van:

- Functie/status (monumentaal pand)
- Constructietype (metselwerk, betonconstructie, slanke hoge gebouwen)

Tabel 5 Schadeclassificatiesysteem conform BRE

Schadecategorie	Schadeklasse
Esthetische, architectonische schade	<i>Verwaarloosbaar</i>
	<i>Zeer licht</i>
	<i>Licht</i>
Functionele Schade	<i>Matig</i>
	<i>Ernstig</i>
Constructieve Schade (Stabiliteitsproblemen)	<i>Zeer ernstige schade</i>

Door de gekozen conservatieve berekeningsaannamen (geen beschouwing van interactie tussen gebouw en grond) wordt rekenkundig een bovengrens van de te verwachten schade bepaald. Als acceptabele grens in de ontwerp praktijk wordt de schadeklasse "lichte" esthetische schade aangehouden (zie groen gearceerd gebied in 5.12#).

### 3.4 Doel monitoring tijdens de uitvoering

Het doel van het monitoren tijdens de uitvoering van de bouwwerkzaamheden is om, in verschillende stadia van de uitvoering, gegevens over de ontwikkeling van mogelijke omgevingsbeïnvloeding (door het meten van bijvoorbeeld damwandvervormingen, vervormingen en trillingen ter plaatse van de belendingen) ter beschikking te hebben. De gemeten waarden worden tijdens de uitvoering met de in een monitoringsplan opgestelde alarm- en grenswaarden vergeleken.

Indien gaandeweg het bouwproces door de metingen onvoorziene afwijkingen van de voorspelling worden geconstateerd, kan door een terugkoppeling van de monitoringsresultaten met de schadepredicties op tijd worden bepaald of het wel of niet noodzakelijk is om een (zettings- of trillingsreducerende) maatregel te treffen en zo ja welke maatregel het meest effectief zal zijn. Op deze manier kan met behulp van de meetdata op de voortgang en de prestatie van het bouwproces op tijd worden geanticipeerd en kunnen maatregelen worden genomen. Het monitoringsplan is een belangrijk onderdeel van de proactieve risicobeheersing, waarbij het adagium geldt "op tijd meten is op tijd weten".

De deskundige interpretatie en beoordeling van de monitoringsresultaten is essentieel voor een proactieve risicobeheersing en vormt de basis om te kunnen beslissen over de noodzaak van het toepassen van een economische (zettings- of trillingsreducerende) maatregel gedurende het bouwproces. Door de combinatie van de verschillende meetinformatie (bijvoorbeeld grondwaterstandsmetingen, hoogtemetingen van de panden, metingen van de horizontale vervorming



van de damwand en trillingsmonitoring) zijn de invloedsbronnen duidelijk te achterhalen. In de afweging voor het nemen van een maatregel is de monitoring van de belendende constructies als maatgevend te beschouwen.

5.1.2.e wordt aansluitend op deze risicoanalyse een integraal monitoringplan opgesteld waarmee invulling wordt gegeven aan bovenstaande aanpak.

## 4 Berekende grondvervormingen

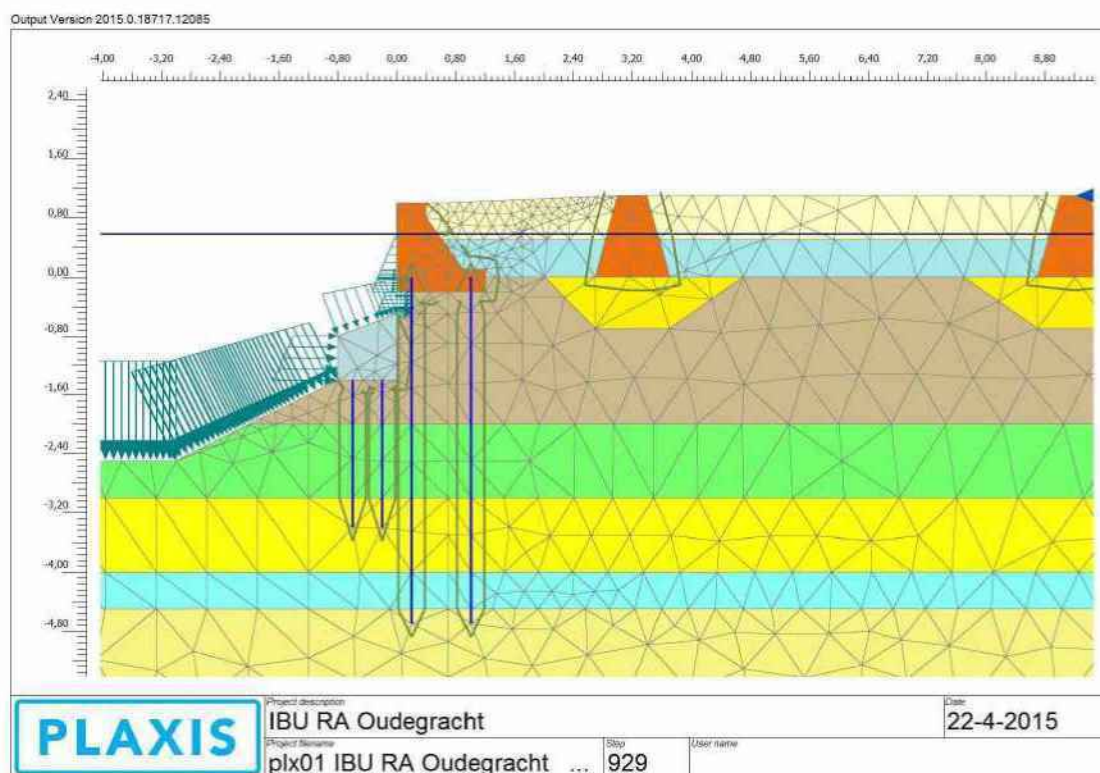
### 4.1 Algemeen

De grondvervormingen ten gevolge van de werkzaamheden zijn berekend met behulp van het computerprogramma PLAXIS 2D 2015. Met dit programma is het mogelijk de spannings- en vervormingstoestand en de stabiliteit van een grondmassief met een gecompliceerde geometrie te beschouwen. De geometrie wordt ingedeeld in elementen. Aan elk element worden materiaaleigenschappen toegekend zoals eigen gewicht, stijfheid en sterkte. Er wordt een stelsel niet lineaire vergelijkingen opgesteld waarvan met behulp van numerieke oplosmethoden op iteratieve wijze de oplossing wordt benaderd. Zowel de spanningen als vervormingen kunnen op deze wijze voor elk element (lees op elke locatie in het grondmassief) worden berekend.

Tijdsafhankelijke effecten zoals consolidatie en kruip zijn niet in beschouwing genomen. De doorlatende zandige lagen zijn daartoe gedraineerd beschouwd evenals de kleilaag. De berekeningen zijn uitgevoerd met het HSsmall model waarin rekening wordt gehouden met een niet-lineaire spanning-rekrelatie en onderscheid wordt gemaakt in een stijfheid voor belasten en ontlasten.

### 4.2 Plaxis model

Een overzicht van de met Plaxis beschouwde doorsnede 1 is weergegeven in 5.1.2.e. De gehanteerde fasering is weergegeven in 5.1.2.e. In Bijlage II is de fasering grafisch weergegeven.



Figuur 10 Plaxis model – doorsnede 1

Tabel 6 Fasering Plaxis berekeningen

Fase	beschrijving fasering
0	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Initiële fasen waarin de bestaande situatie wordt gecreëerd. <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Gracht.</li> <li>○ Funderingsbelasting werfmuur.</li> <li>○ Plaatsen walmuur.</li> <li>○ Plaatsen rioolkoffer voor walmuur.</li> </ul> </li> </ul>
1	• Plaatsen hulpdamwand (AZ18-700 tot NAP -8,5m) in gracht op circa 1,2m voor de walmuur.
2	• Waterstand ter plaatse van walmuur verlagen tot NAP -0,4m.
3	• Slopen kademuur (ontgraving tot circa NAP -0,3m).
4	• Plaatsen definitieve damwand walmuur tussen de bestaande funderingspalen van de walmuur.
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aanbrengen tijdelijke grondkering achter definitieve damwand (op circa 1,0m afstand).</li> <li>• Afstempelen tijdelijke grondkering op definitieve damwand (niveau circa NAP +0,4m).</li> <li>• Waterstand ter plaatse van walmuur verlagen tot NAP -1,3m.</li> <li>• Ontgraven tot circa NAP -0,9m t.b.v. aanleg nevenriool en drainage, afzagen paalkoppen.</li> </ul>
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Waterstand NAP -0,4m.</li> <li>• Aanvullen met (bomen)zand achter definitieve damwand.</li> </ul>
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verwijderen tijdelijke grondkering achter definitieve damwand.</li> <li>• Aanvullen met (bomen)zand tot NAP +1,0m.</li> </ul>
8	• Plaatsen prefab betonschort met metselwerk.
9	• Ruimte tussen rioolkoffer en damwanden uitvullen met beton.
10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afbranden hulpdamwand gracht.</li> <li>• Waterstand NAP +0,58m.</li> </ul>

### 4.3 Resultaten berekening

Een overzicht van de berekende verplaatsingen ter plaatse van de fundering van de werfmuur is voor de verschillende beschouwde doorsneden weergegeven in <sup>5.1.2</sup> tot en met Tabel 9.

Tabel 7 Berekende verplaatsing fundering werfmuur – doorsnede 1

Fase [-]	Doorsnede 1 (veen)	Berekende verplaatsing voorzijde belending		SF [-]
		Uy [mm]	Ux [mm]	
0	Initiële situatie	-	-	1,10
2	Waterstand verlagen tot NAP -0,4m	-1	1	-
3	Slopen kademuur (ontgraving tot circa NAP -0,3m)	-2	2	1,42
4	Plaatsen definitieve damwand	-4	3	-
5	Aanbrengen tijdelijke grondkering inclusief stempel Waterstand t.p.v. walmuur verlagen tot NAP -1,3m Ontgraven tot circa NAP -0,9m	-11	7	1,13
7	Verwijderen tijdelijke grondkering Aanvullen met (bomen)zand tot NAP +1,0m Waterstand NAP +0,4m	-12	8	-

Fase [-]	Doorsnede 1 (veen)	Berekende verplaatsing voorzijde belending		SF [-]
		Uy [mm]	Ux [mm]	
10	Afbranden hulpdamwand gracht Waterstand NAP +0,58m	-12	9	1,82

Opmerkingen bij de tabel:

Uy = verticale verplaatsing fundering werfmuur

Ux = horizontale verplaatsing fundering werfmuur

SF = stabiliteitsfactor

Tabel 8 Berekende verplaatsing fundering werfmuur – doorsnede 2

Fase [-]	Doorsnede 2 (klei)	Berekende verplaatsing voorzijde belending		SF [-]
		Uy [mm]	Ux [mm]	
0	Initiële situatie	-	-	1,01
2	Waterstand verlagen tot NAP -0,4m	-1	1	-
3	Slopen kademuur (ontgraving tot circa NAP -0,3m)	-1	1	1,48
4	Plaatsen definitieve damwand	-1	1	-
5	Aanbrengen tijdelijke grondkering inclusief stempel Waterstand t.p.v. walmuur verlagen tot NAP -1,3m Ontgraven tot circa NAP -0,9m	-7	5	1,20
7	Verwijderen tijdelijke grondkering Aanvullen met (bomen)zand tot NAP +1,0m Waterstand NAP +0,4m	-8	7	-
10	Afbranden hulpdamwand gracht Waterstand NAP +0,58m	-12	9	1,64

Opmerkingen bij de tabel:

Uy = verticale verplaatsing fundering werfmuur

Ux = horizontale verplaatsing fundering werfmuur

SF = stabiliteitsfactor

Tabel 9 Berekende verplaatsing fundering werfmuur – doorsnede 3

Fase [-]	Doorsnede 3 (zand)	Berekende verplaatsing voorzijde belending		SF [-]
		Uy [mm]	Ux [mm]	
0	Initiële situatie	-	-	1,25
2	Waterstand verlagen tot NAP -0,4m	0	0	-
3	Slopen kademuur (ontgraving tot circa NAP -0,3m)	-1	1	1,25
4	Plaatsen definitieve damwand	-1	1	-
5	Aanbrengen tijdelijke grondkering inclusief stempel	-2	2	1,3



Fase [-]	Doorsnede 3 (zand)	Berekende verplaatsing voorzijde belending		SF
		Uy [mm]	Ux [mm]	[-]
	Waterstand t.p.v. walmuur verlagen tot NAP -1,3m Ontgraven tot circa NAP -0,9m			
7	Verwijderen tijdelijke grondkering Aanvullen met (bomen)zand tot NAP +1,0m Waterstand NAP +0,4m	-2	2	-
10	Afbranden hulpdamwand gracht Waterstand NAP +0,58m	-4	2	2,1

Opmerkingen bij de tabel:

Uy = verticale verplaatsing fundering werfmuur

Ux = horizontale verplaatsing fundering werfmuur

SF = stabiliteitsfactor

Naast de berekende verplaatsingen is in de tabellen de waarde van de veiligheidsfactor van de constructie weergegeven. De veiligheidsfactor heeft betrekking op de macrostabiliteit. Door middel van een stapsgewijze reductie van de sterkteparameters  $\phi'$  (hoek van inwendige wrijving) en  $c$  (cohesie) van de grond, wordt inzicht verkregen in de stabiliteit van de constructie. De reductie wordt doorgezet totdat de constructie komt te bezwijken. De mate waarin de sterkte is gereduceerd tot bezwijken, bepaalt de stabiliteit die de constructie bezit.

De veiligheidsfactor gedurende de bouwphase is, ten gevolge van het plaatsen van de damwanden, groter dan de huidige situatie. In het bouwbesluit wordt voor de partiële factor voor grondeigenschappen verwezen naar NEN 9997-1+C1. Voor de sterkteparameters  $c'$  (cohesie) en  $\phi'$  (hoek van inwendige wrijving) bedraagt de partiële factor ( $\gamma$ ) respectievelijk 1,45 en 1,25 (uitgaande van veiligheidsklasse RC2). Met een berekende veiligheidsfactor in de eindsituatie van (1,6 t/m 2,1) wordt hier ruimschoots aan voldaan.

#### 4.4 Toetsing van de berekende vervormingen

In Tabel 10 is een overzicht gegeven van de maximale verplaatsingen ter plaatse van de werfmuur. Door projectie van het maatgevende vervormingsverloop van de verticale en de horizontale grondvervormingen is een rekenkundig schadeprofiel te bepalen. Door de gekozen conservatieve berekeningsaannamen (geen beschouwing van interactie tussen gebouw en grond) wordt rekenkundig een absolute bovengrens van de te verwachten schade door de bouwwerkzaamheden voorspeld.

Uit de berekeningen volgt dat de invloed van de grondvervormingen op de belendende panden rekenkundig resulteert in mogelijke *verwaarloosbare tot lichte esthetische schade*. Dit schadeprofiel wordt binnen de huidige ontwerppraktijk voor binnenstedelijke projecten als een acceptabel schadeprofiel aangemerkt. Voor de berekening van de schadeklasse wordt verwezen naar Bijlage V.

Tabel 10 Berekende verplaatsing en schadeprofiel werfmuur

Doorsnede	Berekening	Ontgraven bouwkuip		Totale rek	Schadeprofiel
[-]	[-]	Vert. [mm]	Hor. [mm]	[%]	[-]
Doorsnede 1/2	Referentieoplossing	12	9	0,145	licht esthetisch
Doorsnede 3	Referentieoplossing	2	2	0,033	verwaarloosbaar

#### 4.5 Riolering

De riolering welke is geplaatst voor de walmuren is gefundeerd op korte houten palen. In Plaxis is tevens de riolering gemodelleerd. Hieruit blijkt dat de riolering circa 4mm in horizontale richting verplaatst en circa 2mm in verticale richting. De riolering kan mogelijk ook worden beïnvloed door het indrukken van de hulpdamwand en de permanente damwand op korte afstand van de palen. Hiervoor is uitgegaan van een verticale zakking van 5mm ter plaatse van de riolering. Resultierend in een totale berekende zetting van circa 1cm. De toelaatbare (verschil)zetting van het riool is tijdens het opstellen van onderhavige rapportage niet bekend en dient te worden bepaald door de leidingbeheerder. Op basis van de informatie van de leidingbeheerder kunnen de berekende vervormingen worden getoetst.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Conclusies

Vanuit het oogpunt van omgevingsbeïnvloeding zijn drie doorsneden beschouwd. Doorsneden 1 en 2 zijn te beschouwen als 'worst-case' situaties. Doorsnede 3 is gunstig vanuit het oogpunt van omgevingsbeïnvloeding.

Uit de berekeningen volgt dat, op basis van de huidige gegevens, ter plaatse van de doorsneden 1 tot en met 3 de schadeklasse beperkt is tot een acceptabele klasse: verwaarloosbare tot lichte esthetische schade.

Naar verwachting zal de grondopbouw over het algemeen gunstiger zijn en/of zal de afstand tussen de werfmuur en de walmuur groter zijn dan 3,0m. De berekende vervormingen ter plaatse van doorsneden 1 en 2 kunnen derhalve als een bovengrens worden beschouwd. Naar verwachting zullen de vervormingen over het algemeen overeenkomen met doorsnede 3.

### 5.2 Aanbevelingen / additionele risico's

#### 5.2.1 Geldigheid risicoanalyse

De uitgevoerde risicoanalyse is geldig voor alle locaties/rakken welke vergelijkbaar of gunstiger zijn dan de beschouwde doorsneden. Bij (grote) afwijkingen in de bodemopbouw (dikte slappe lagen), diepte grachtbodem, funderingsbelasting van de werfmuur of afstand tussen de werf- en walmuur moet beschouwd worden of een aanvullende analyse noodzakelijk is.

#### 5.2.2 Trekken palenrij bestaande walmuur

In principe blijft de paalfundering van de bestaande walmuur in de ondergrond achter. Mocht het toch nodig zijn om enkele palen te trekken dan kan dezelfde werkwijze worden gehanteerd zoals deze ook ter plaatse van 5.1.2.e is toegepast:

- plaatsen van casing van circa 0,5m om de paal om instorten van het gat te voorkomen;
- trekken van de houten paal;
- het ontstane gat meteen vullen met zand en dit zoveel mogelijk verdichten.

De hoeveelheid zand welke in het ontstane gat kan worden aangebracht, in relatie tot de diameter en lengte van de paal, is een signalering om te controleren dat het gat niet is ingestort. Indien een gat is ingestort moeten, indien meerdere achtereenvolgende palen verwijderd moeten worden, de eerstvolgende palen op een alternatieve manier getrokken worden. Hierbij kan gedacht worden aan het verbuisd trekken van de palen (over de volledige lengte) en de ontstane ruimte vervolgens te vullen met zand of bentoniet/dämmer.

Het wordt bij deze methode opgemerkt dat op de locatie van de getrokken palen later weer een damwand dient te worden aangebracht. Het injectiemiddel dient dus niet zo hard te worden dat dit later weer tot problemen leidt.

#### 5.2.3 Bomen

Tussen de werfmuur en de walmuur zijn bomen aanwezig waarbij enkele bomen op zeer korte afstand van de walmuur staan, zie Figuur 7. Dit kan betekenen dat op enkele locaties de bomen

voorafgaand aan de werkzaamheden verwijderd moeten worden of dat op deze locaties voor een alternatieve uitvoeringsmethode gekozen moet worden. De mogelijke alternatieve uitvoeringsmethode maakt geen onderdeel uit van onderhavige risicoanalyse.

#### 5.2.4 Werkvolgorde

Het wordt aanbevolen om, analoog aan de werkmethode ter plaatse van 5.1.2e na verwijderen van de walmuur zo snel mogelijk de definitieve damwand te plaatsen (hooguit 0,5-1 dagproductie verschil).

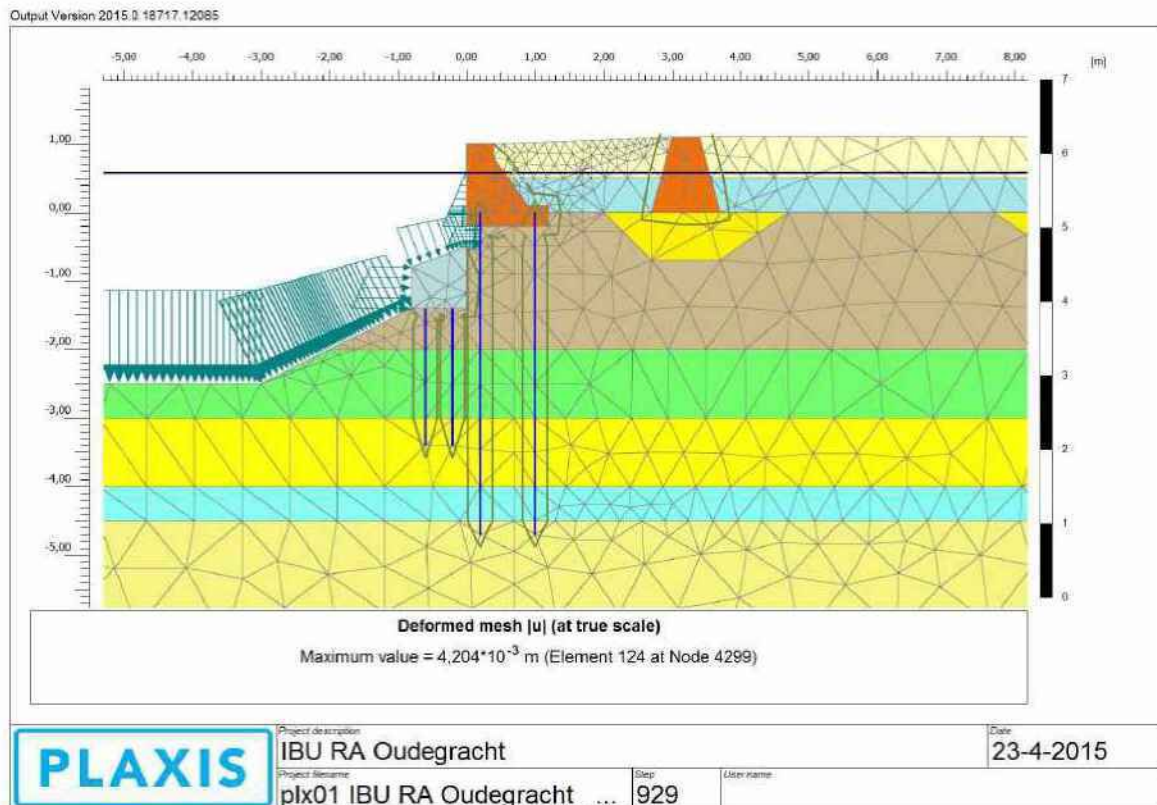
### 5.3 Monitoring

In een apart monitoringsplan zullen de monitoringswerkzaamheden worden besproken. In het plan worden de meetmomenten, de locatie van de meetinstrumenten en de te hanteren alarm- en grenswaarden nader gespecificeerd.

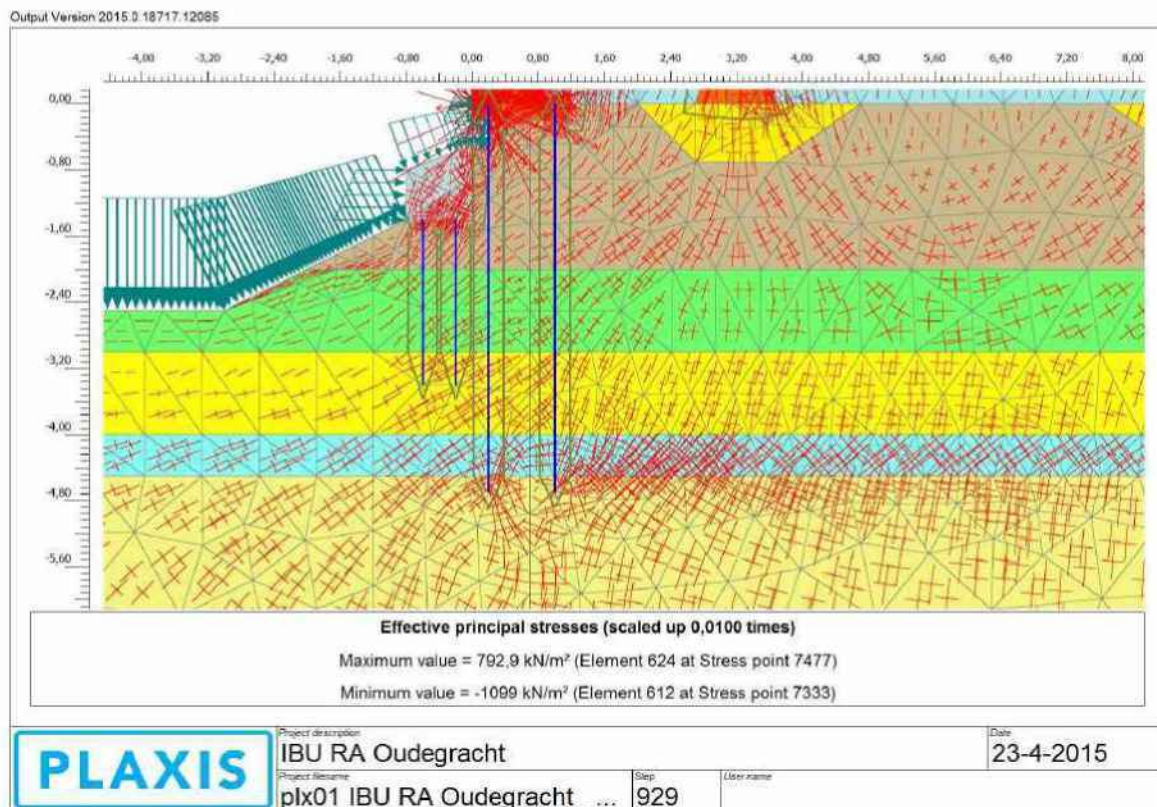


## Bijlage I Grondonderzoek

Doorsnede 1 – Fase 0 - Initieel

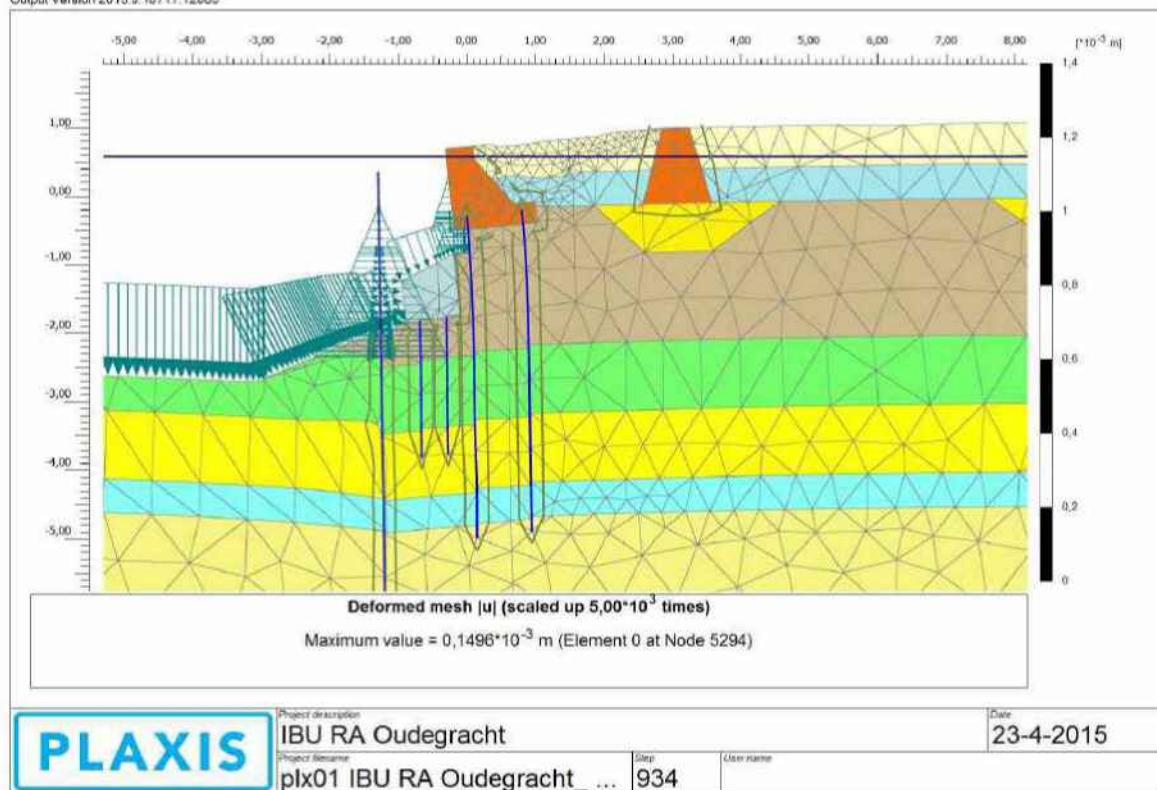


Verloop hoofdspanningsrichtingen in de ondergrond (initieel)

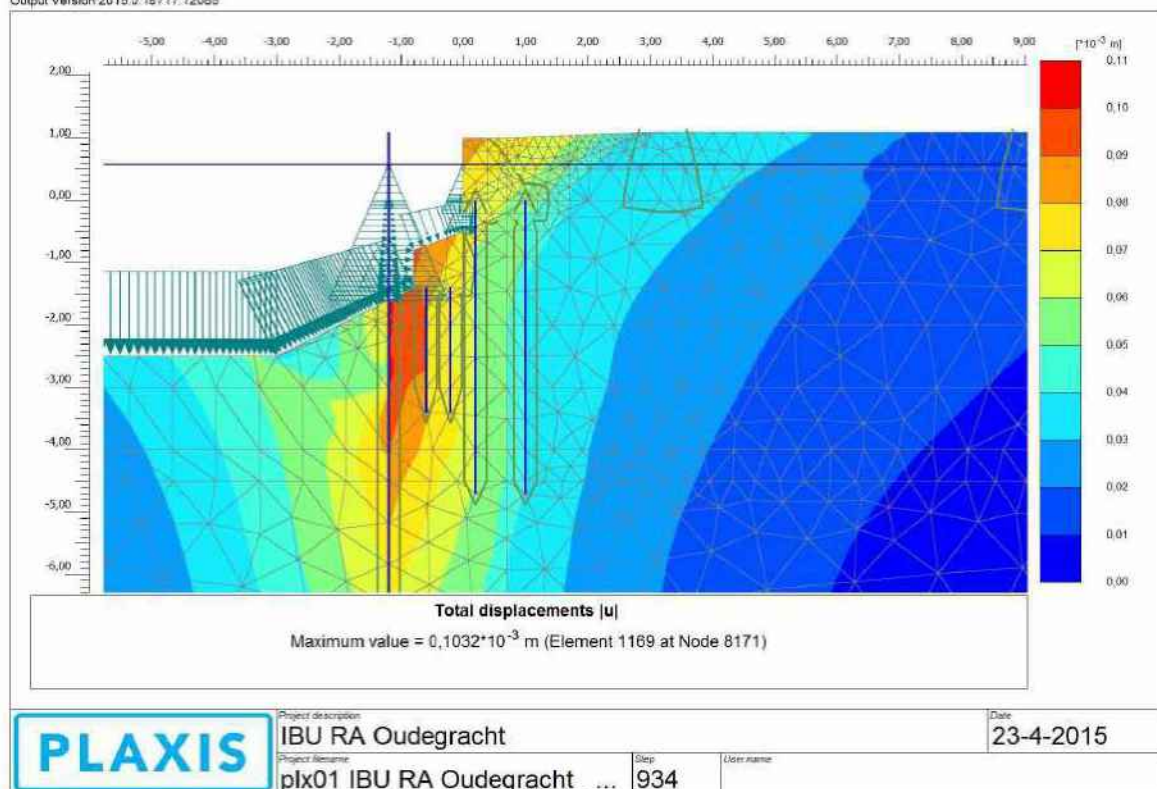


## Doorsnede 1 – Fase 1 – Plaatsen hulpdamwand in gracht

Output Version 2015.0.18717.12085



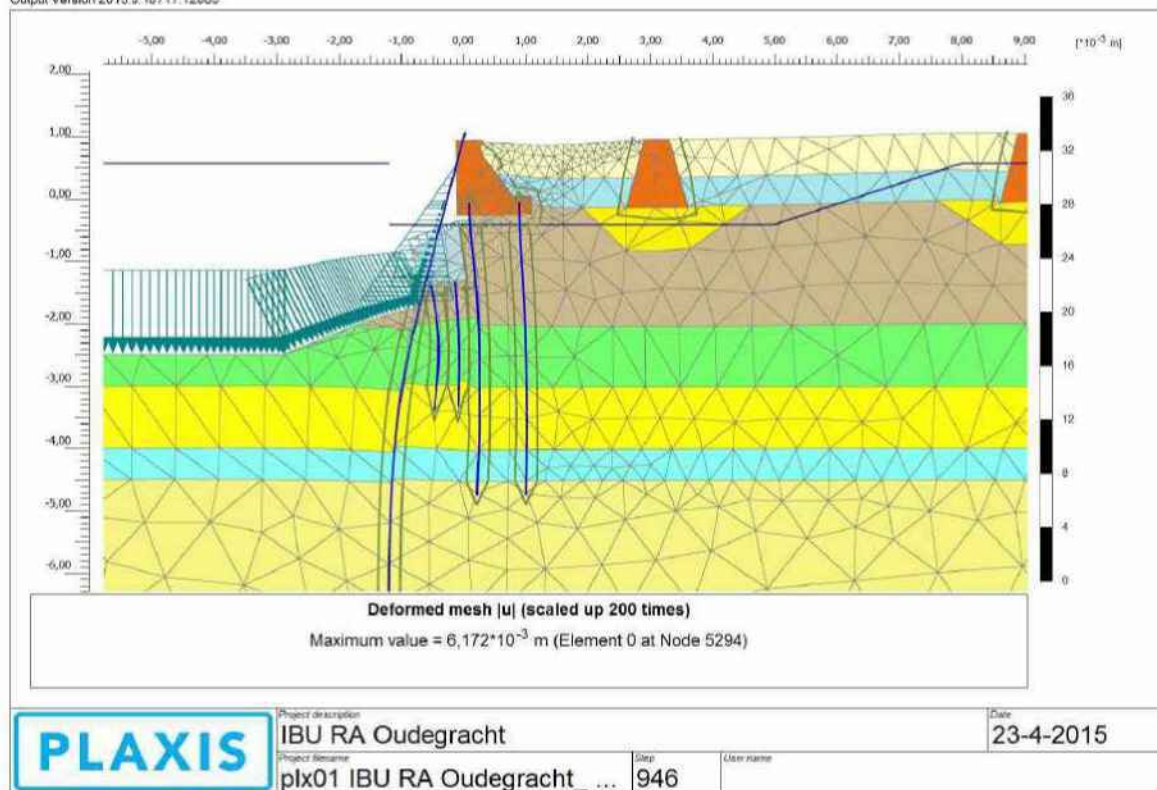
Output Version 2015.0.18717.12085



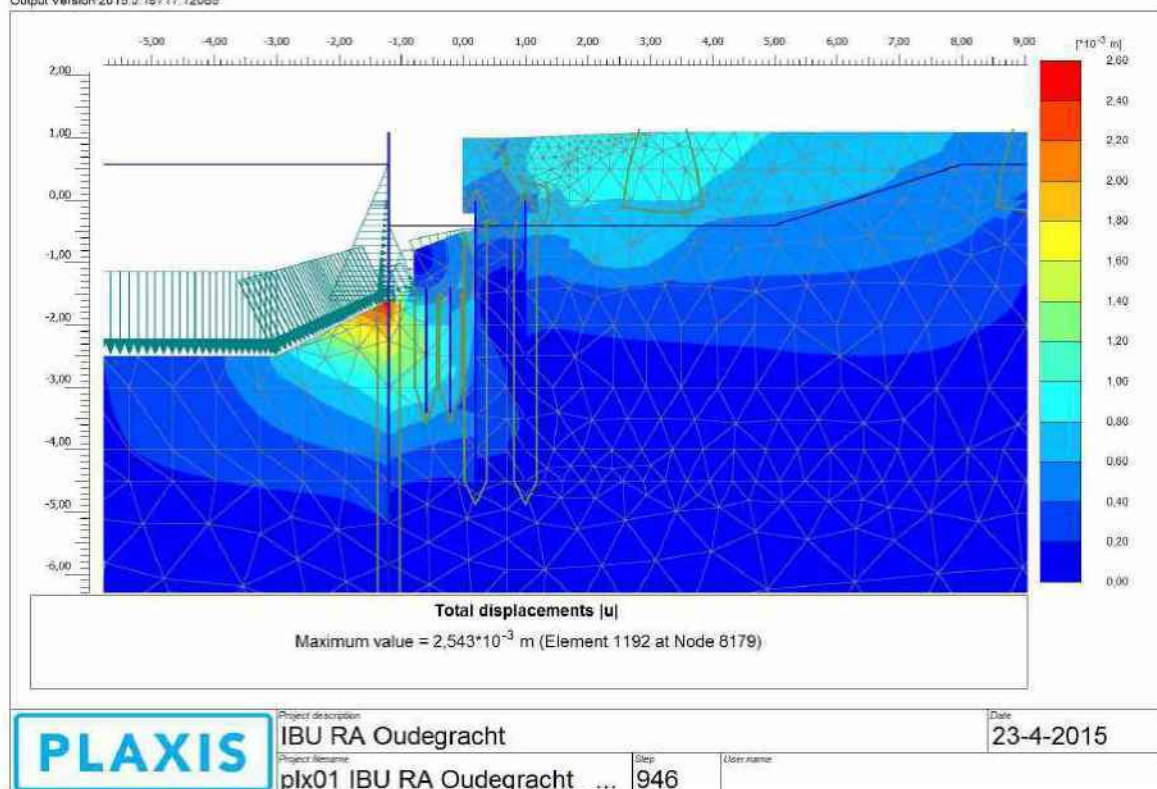


## Doorsnede 1 – Fase 2 – Waterstand verlagen tot NAP -0,4m

Output Version 2015.0.18717.12085



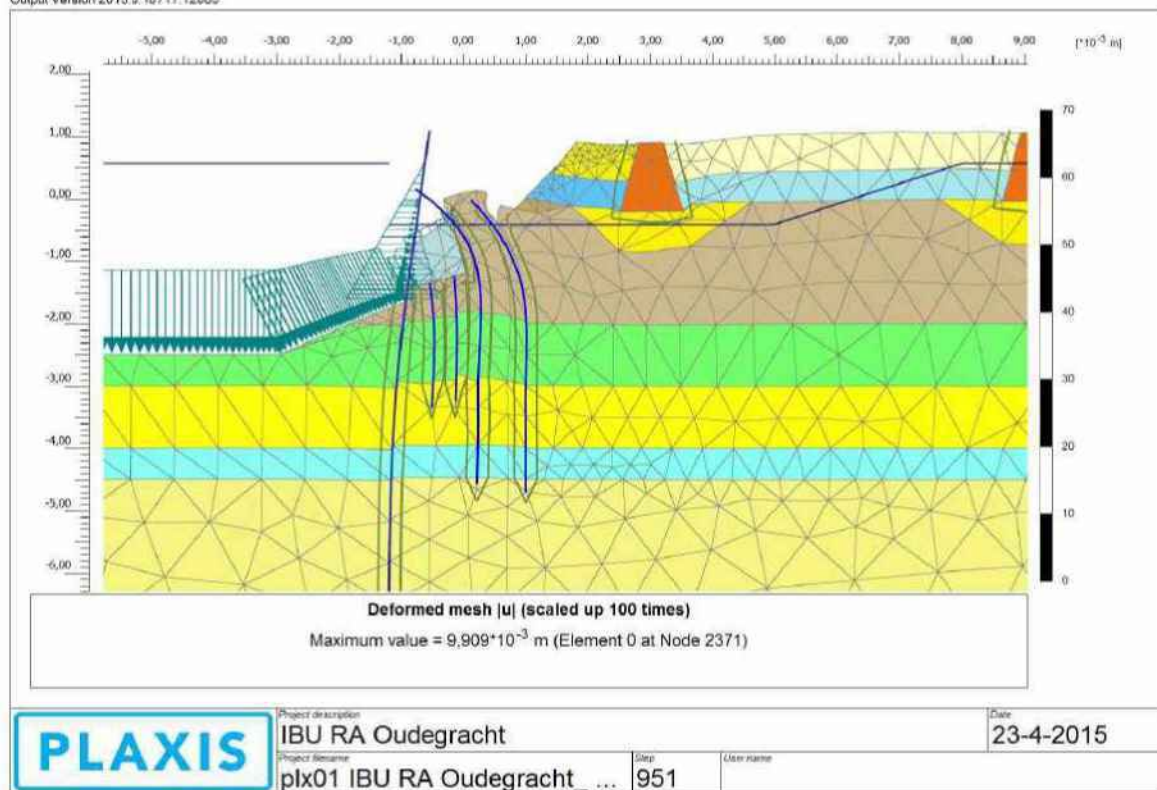
Output Version 2015.0.18717.12085



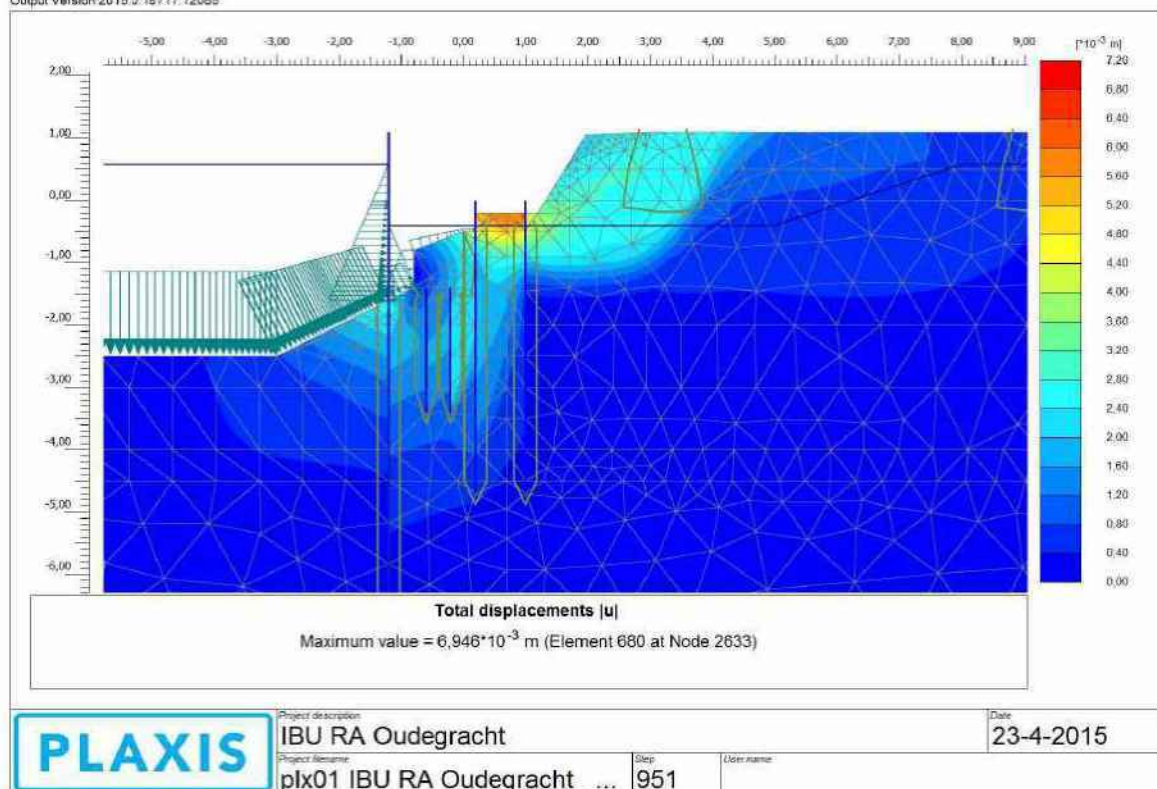


## Doorsnede 1 – Fase 3 – Slopen kademuur (ontgraving tot circa NAP -0,3m)

Output Version 2015.0.18717.12085

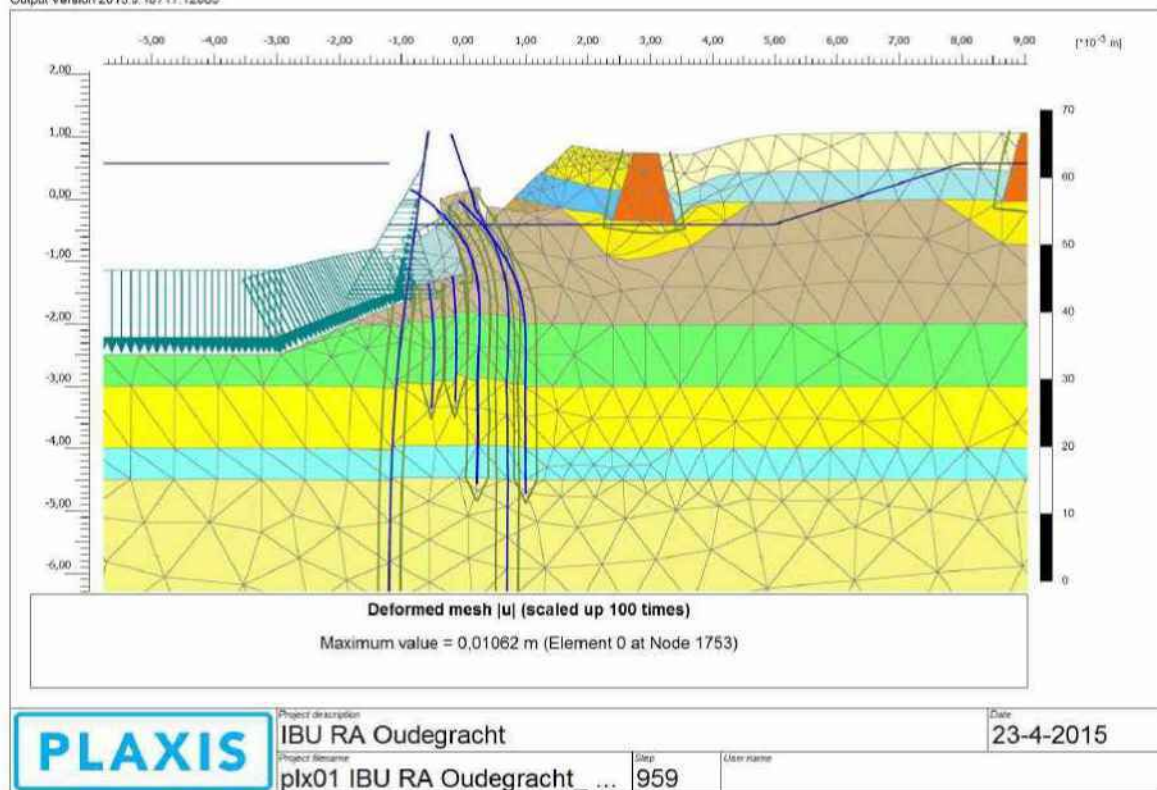


Output Version 2015.0.18717.12085

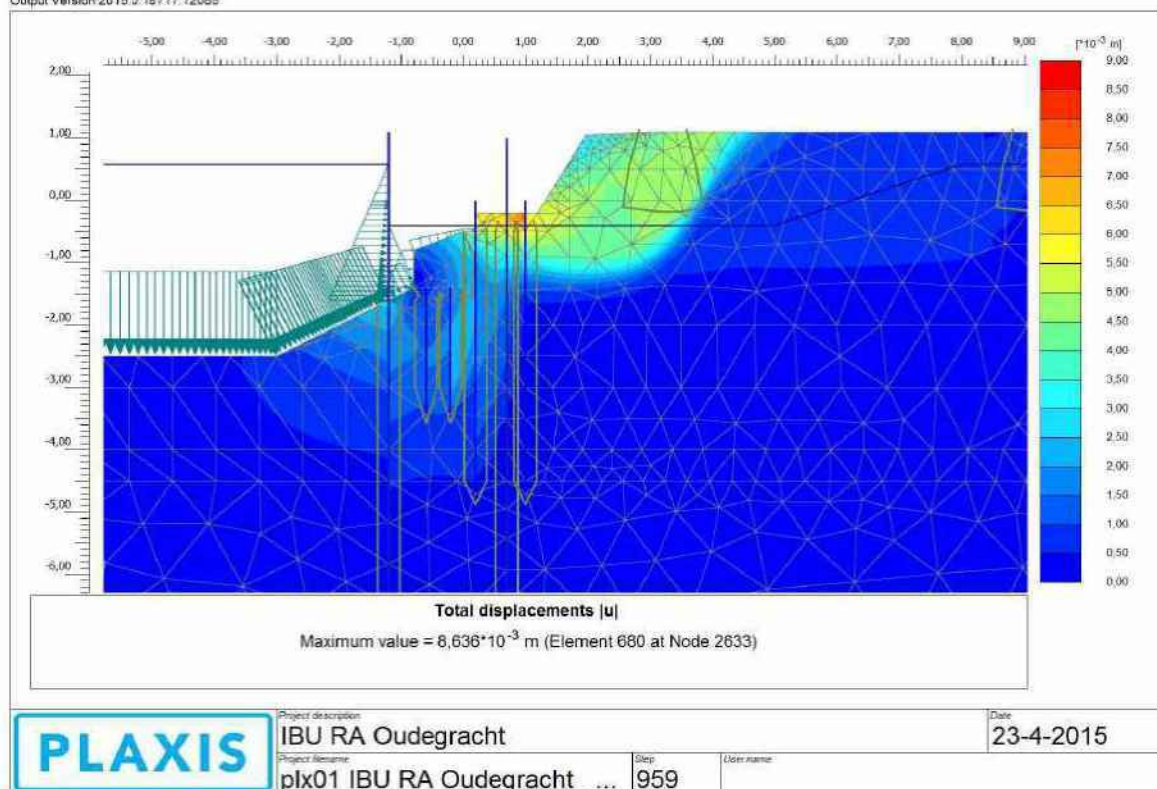


## Doorsnede 1 – Fase 4 – Plaatsen definitieve damwand

Output Version 2015.0.18717.12085



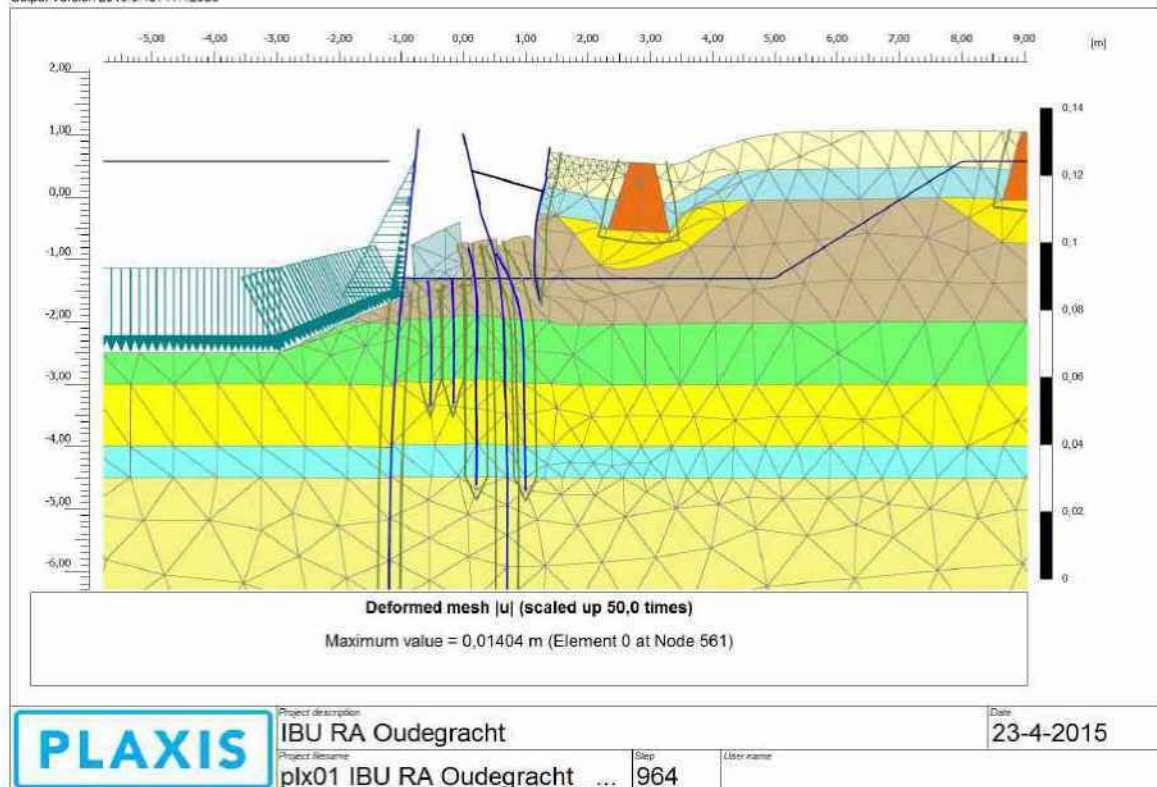
Output Version 2015.0.18717.12085



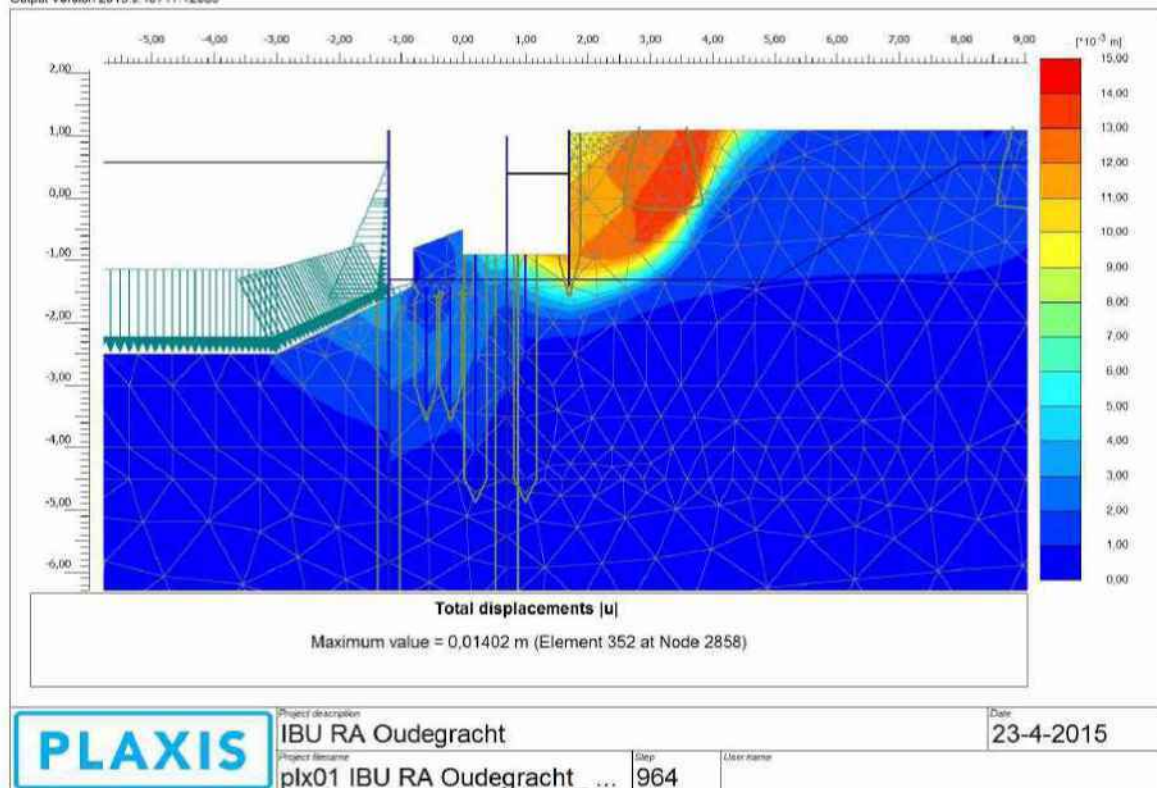


Doorsnede 1 – Fase 5 – Aanbrengen tijdelijke grondkering; afstempelen grondkering op definitieve damwand; waterstand ter plaatse van walmuur verlagen tot NAP -1,3m; ontgraven tot NAP -0,9m.

Output Version 2015.0.18717.12085

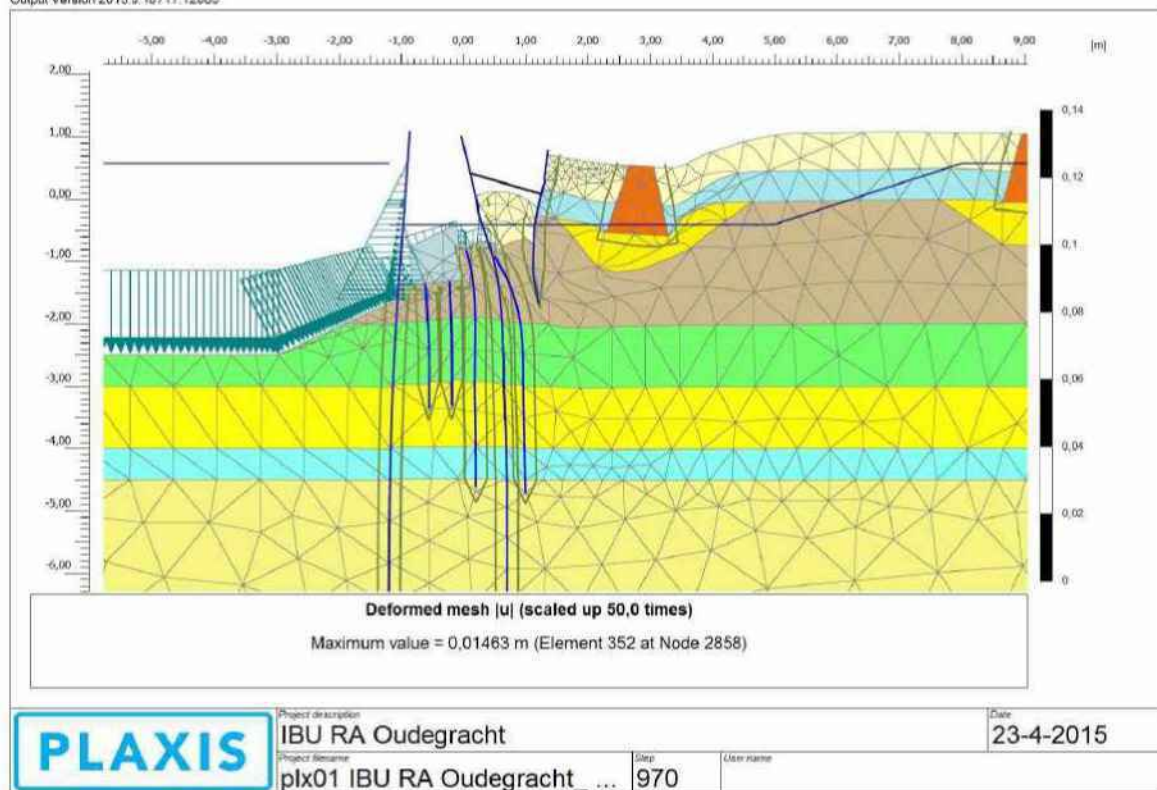


Output Version 2015.0.18717.12085

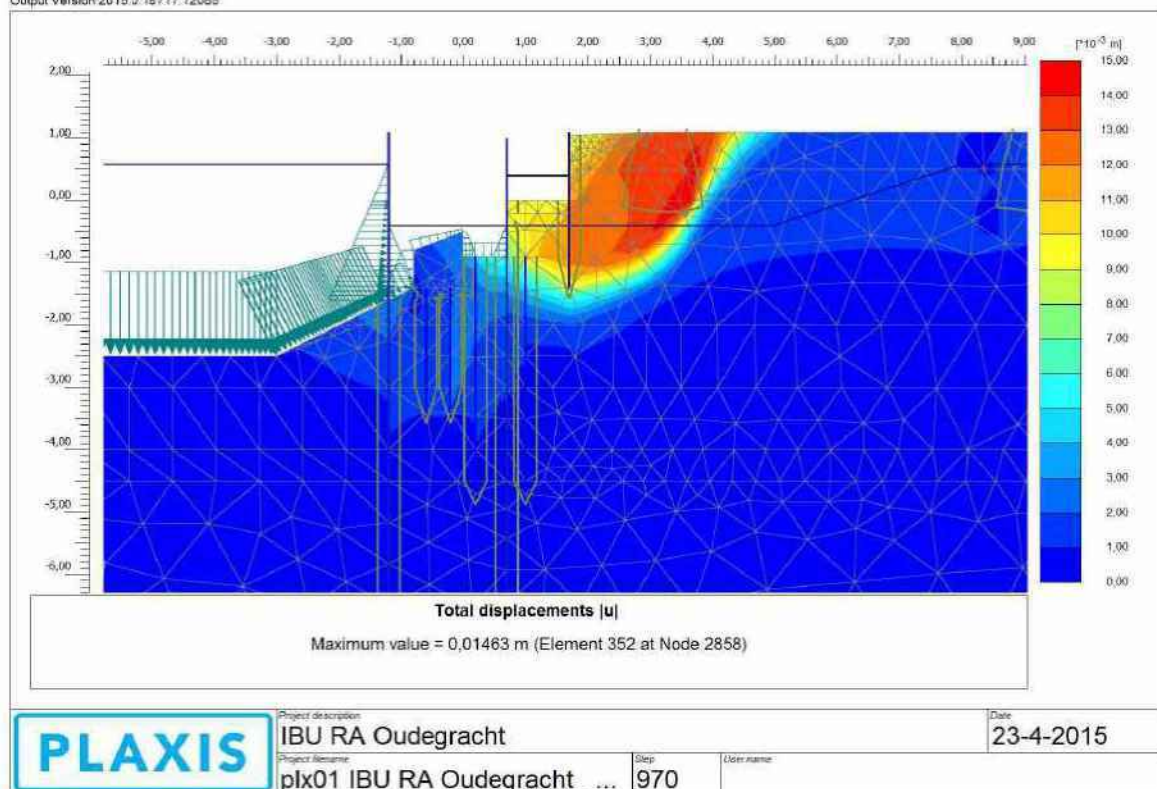


## Doorsnede 1 – Fase 6 – Waterstand NAP -0,4m; aanvullen met (bomen)zand achter damwand

Output Version 2015.0.18717.12085



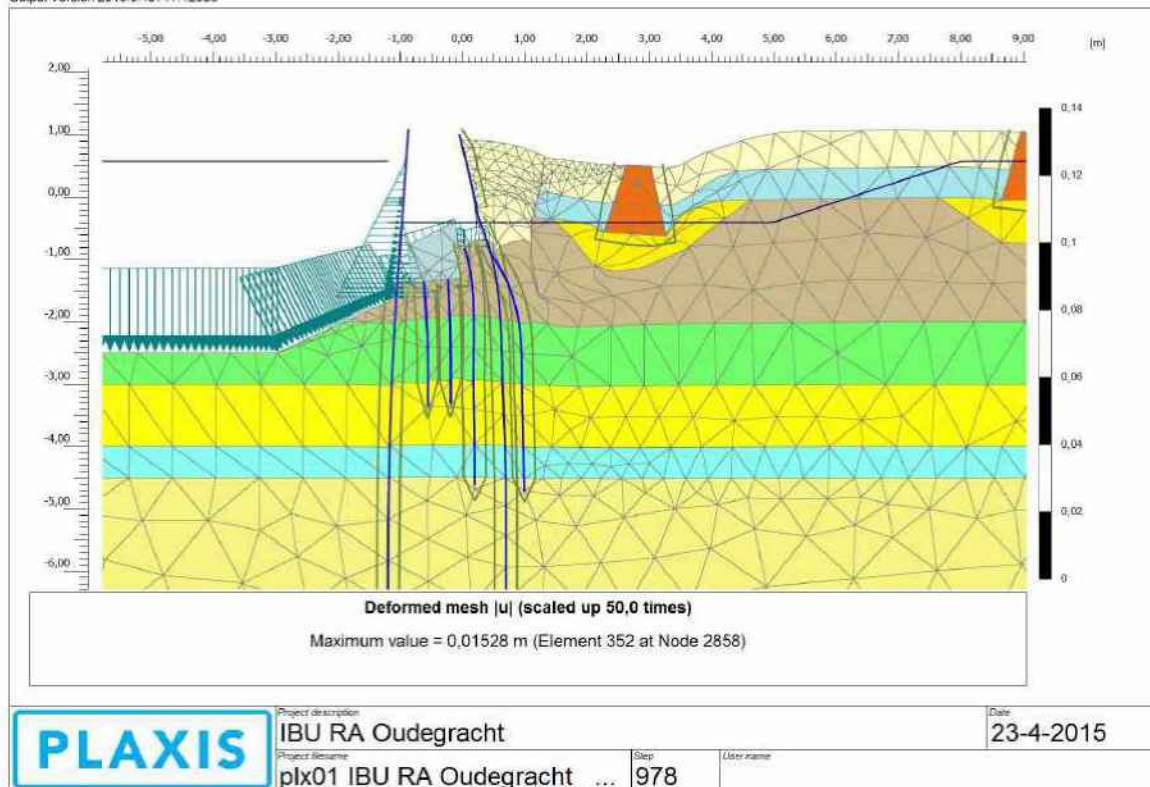
Output Version 2015.0.18717.12085



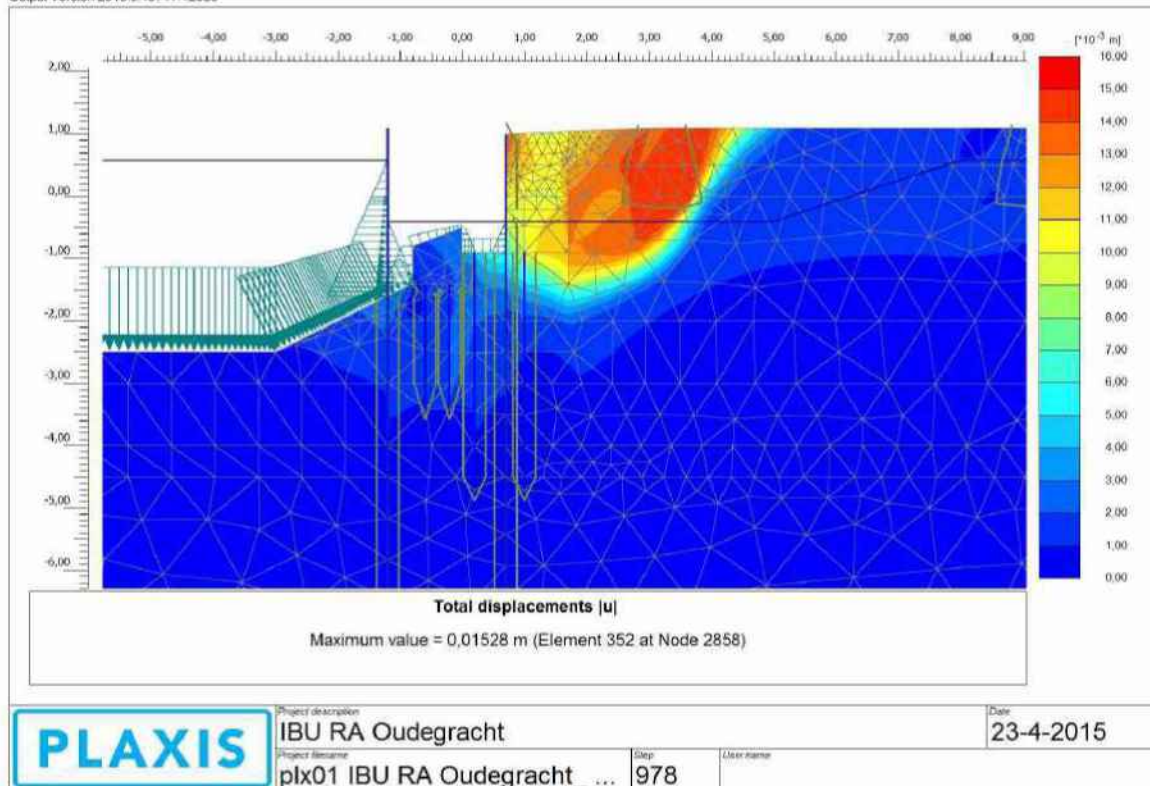


Doorsnede 1 – Fase 7 – Verwijderen tijdelijke grondkering; aanvullen met (bomen)zand tot NAP +1,0m

Output Version 2015.0.18717.12085

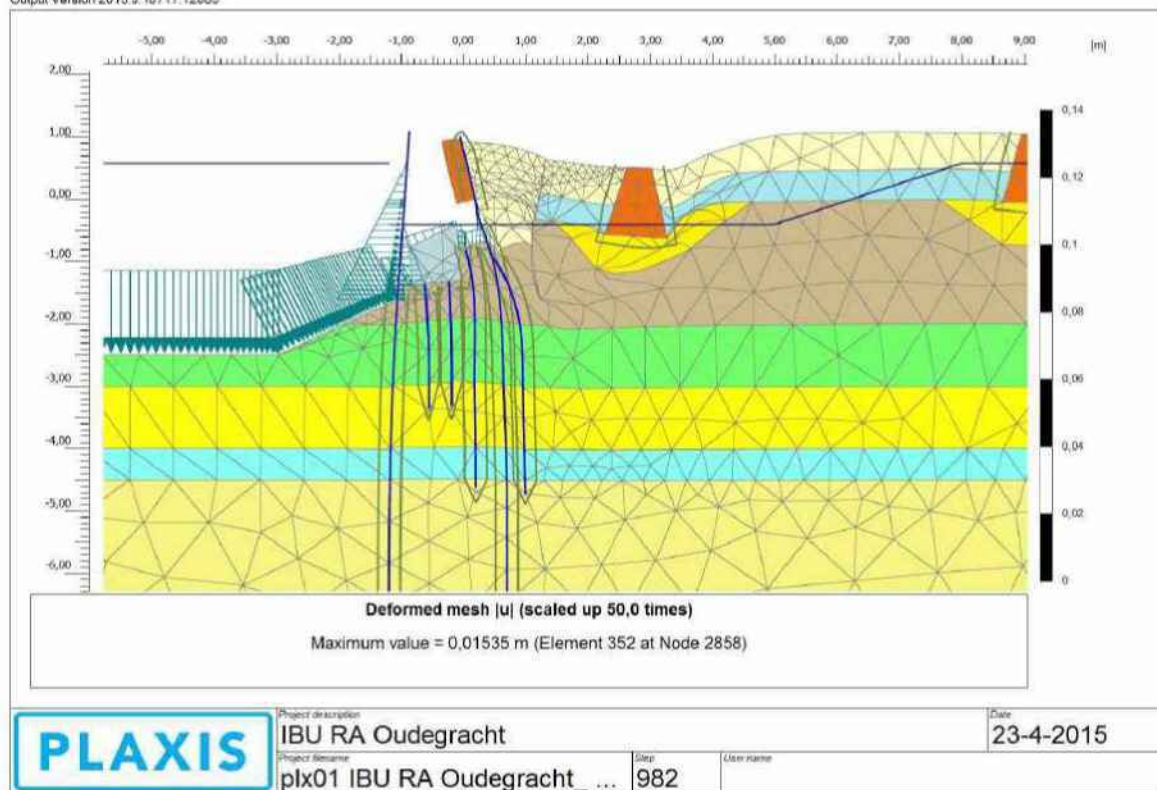


Output Version 2015.0.18717.12085

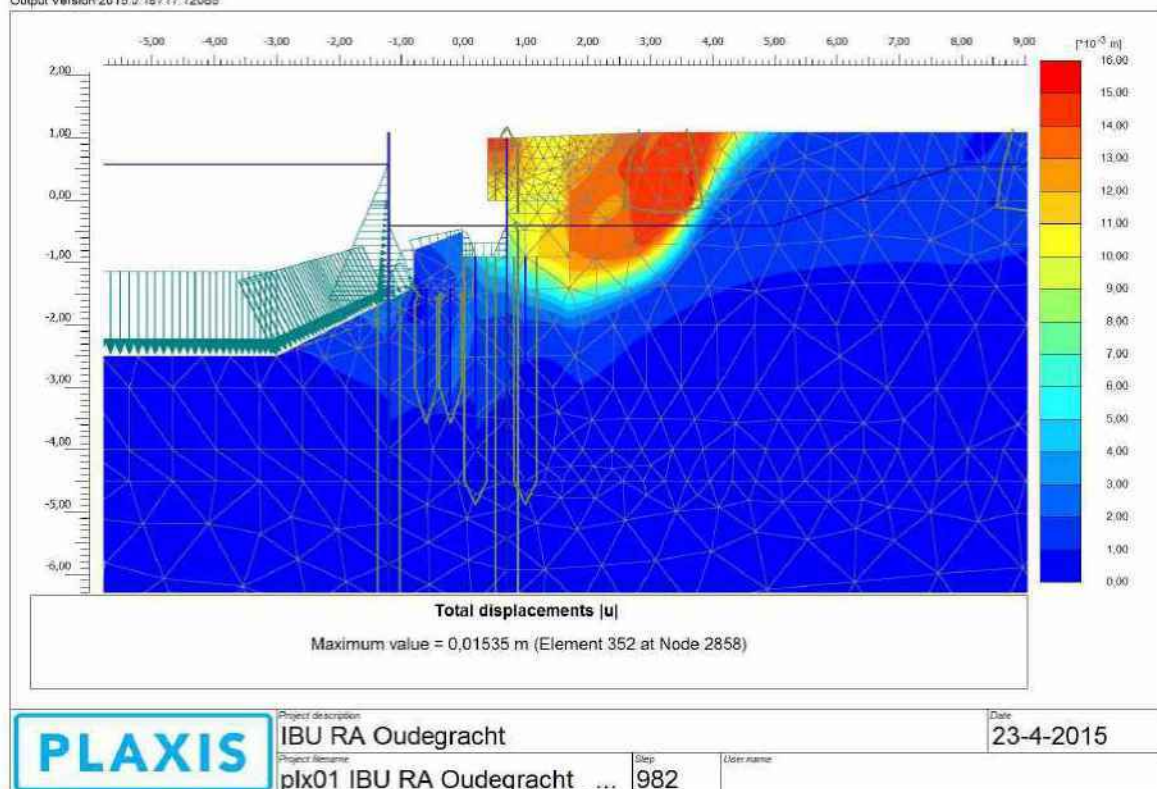


## Doorsnede 1 – Fase 8 – Plaatsen prefab betonschort met metselwerk

Output Version 2015.0.18717.12085



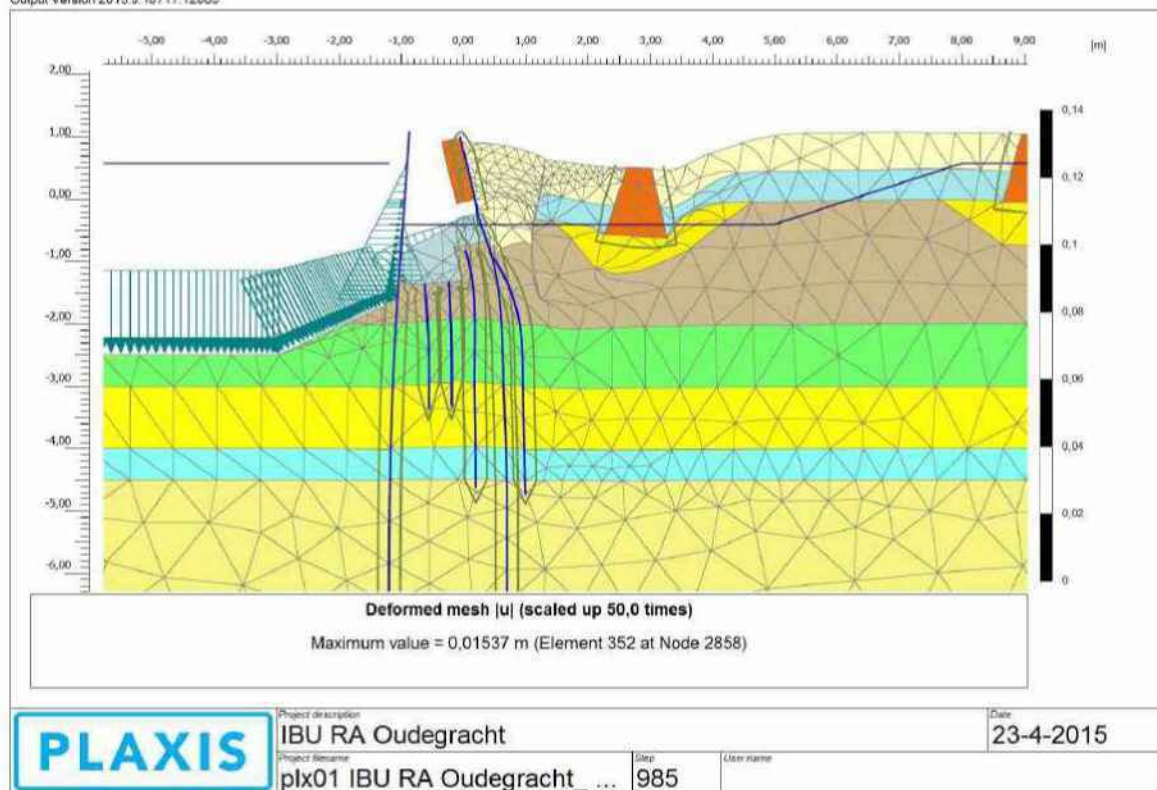
Output Version 2015.0.18717.12085



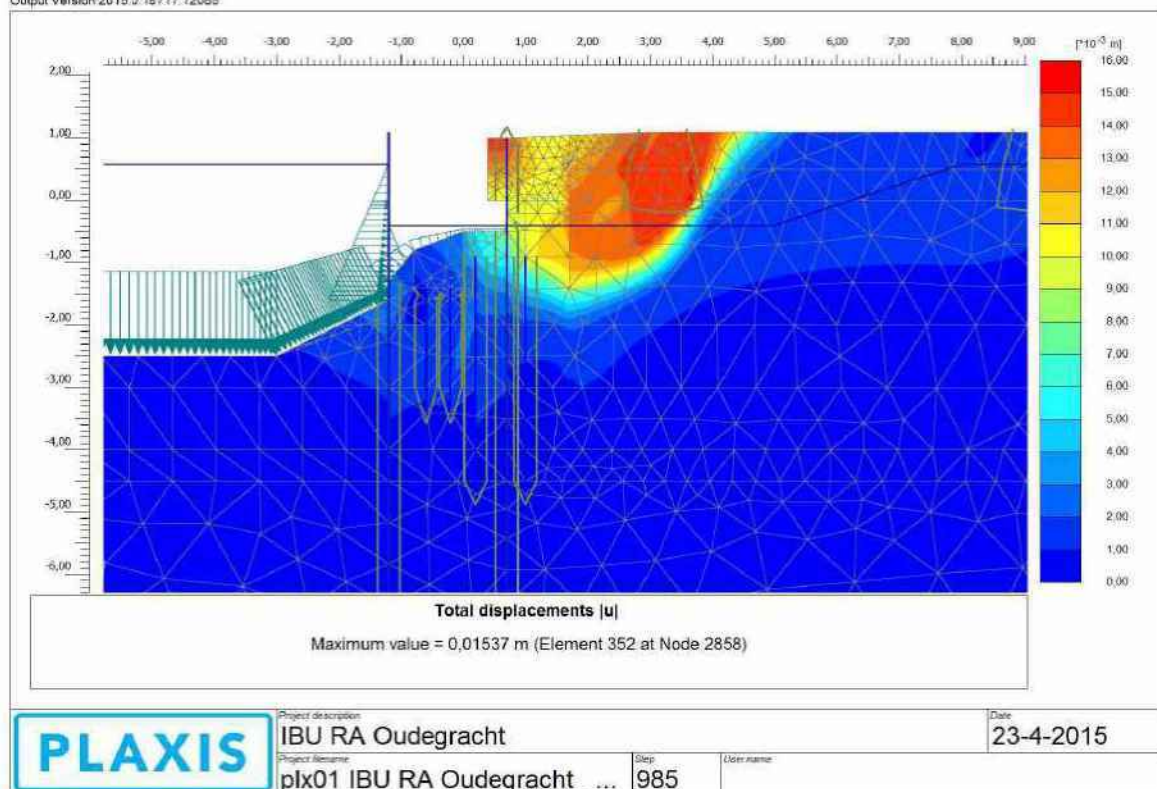


## Doorsnede 1 – Fase 9 – Ruimte tussen rioolkoffer en damwanden uitvullen met beton

Output Version 2015.0.18717.12085

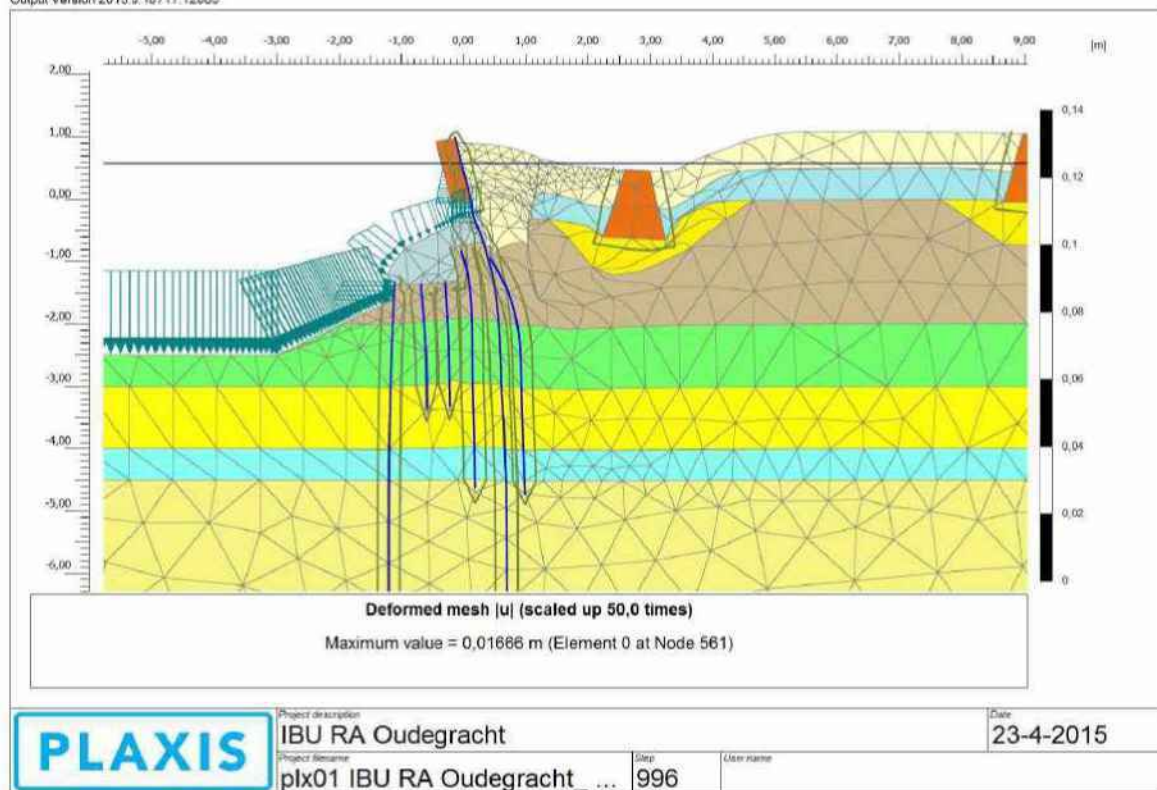


Output Version 2015.0.18717.12085

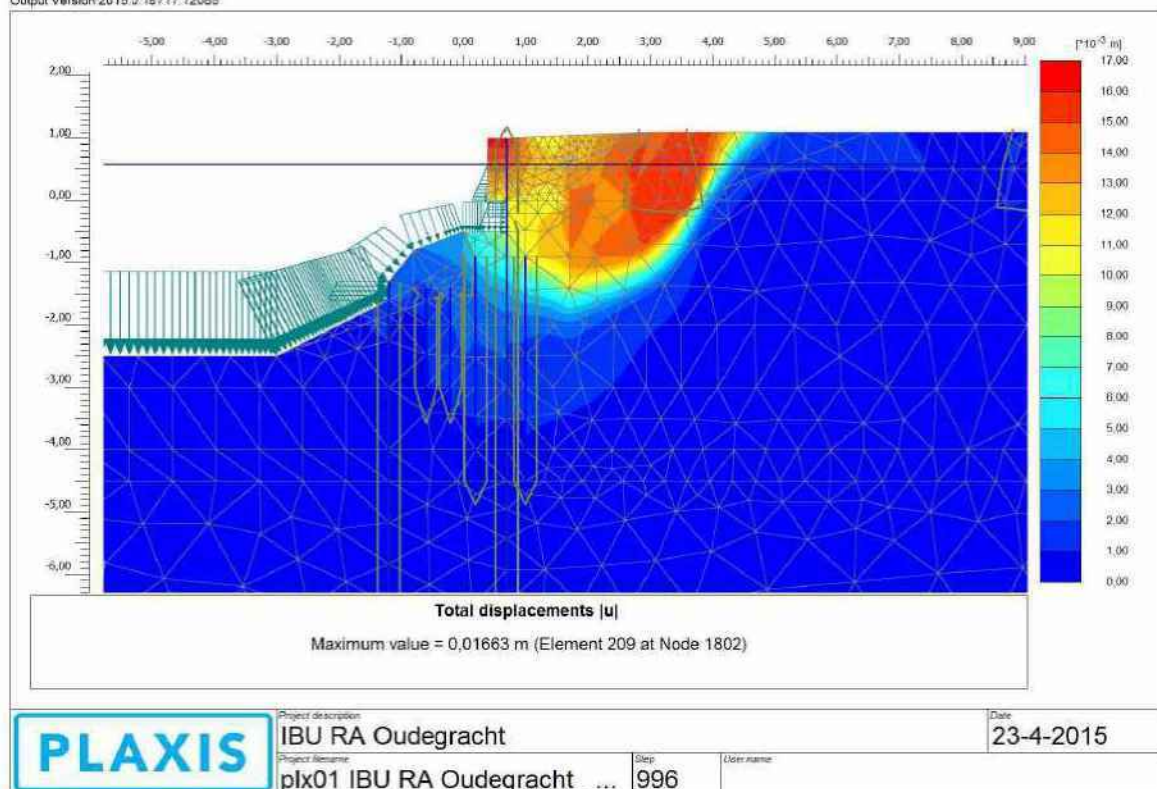


## Doorsnede 1 – Fase 10 – Afbranden hulpdamwand in gracht; Waterstand NAP +0,58m

Output Version 2015.0.18717.12085



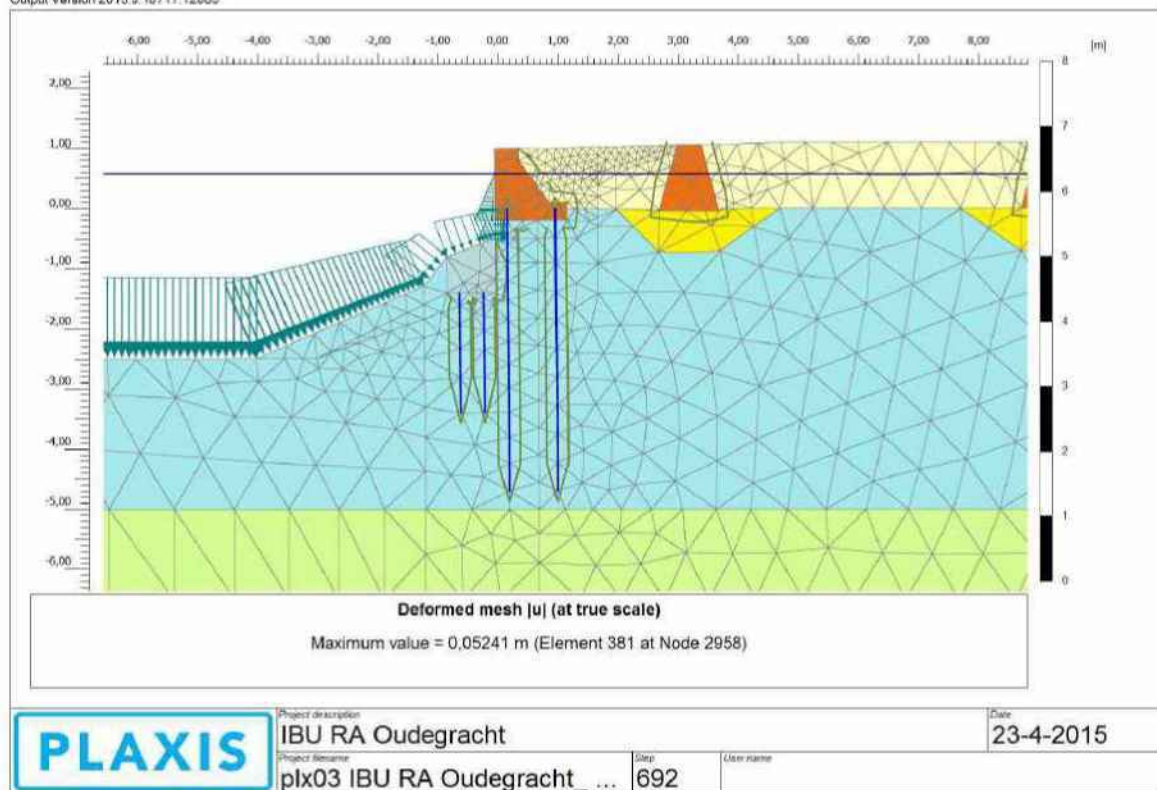
Output Version 2015.0.18717.12085





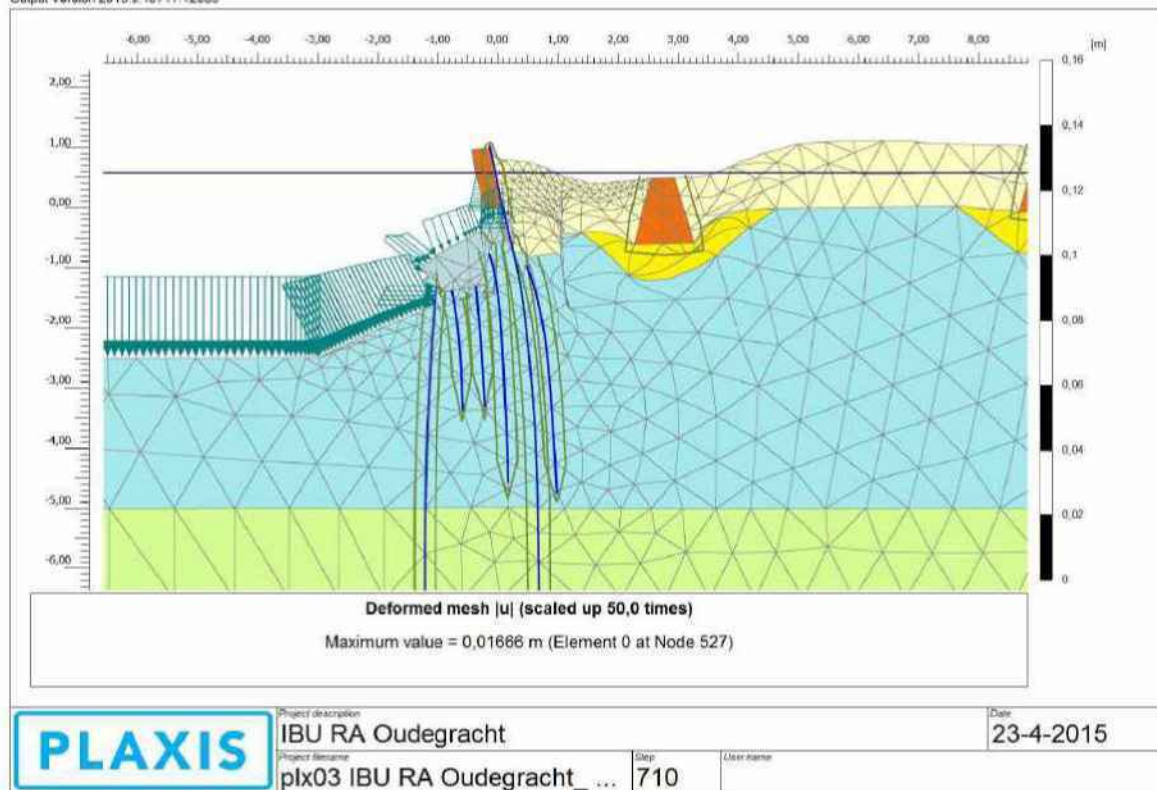
## Doorsnede 2 – Initieel

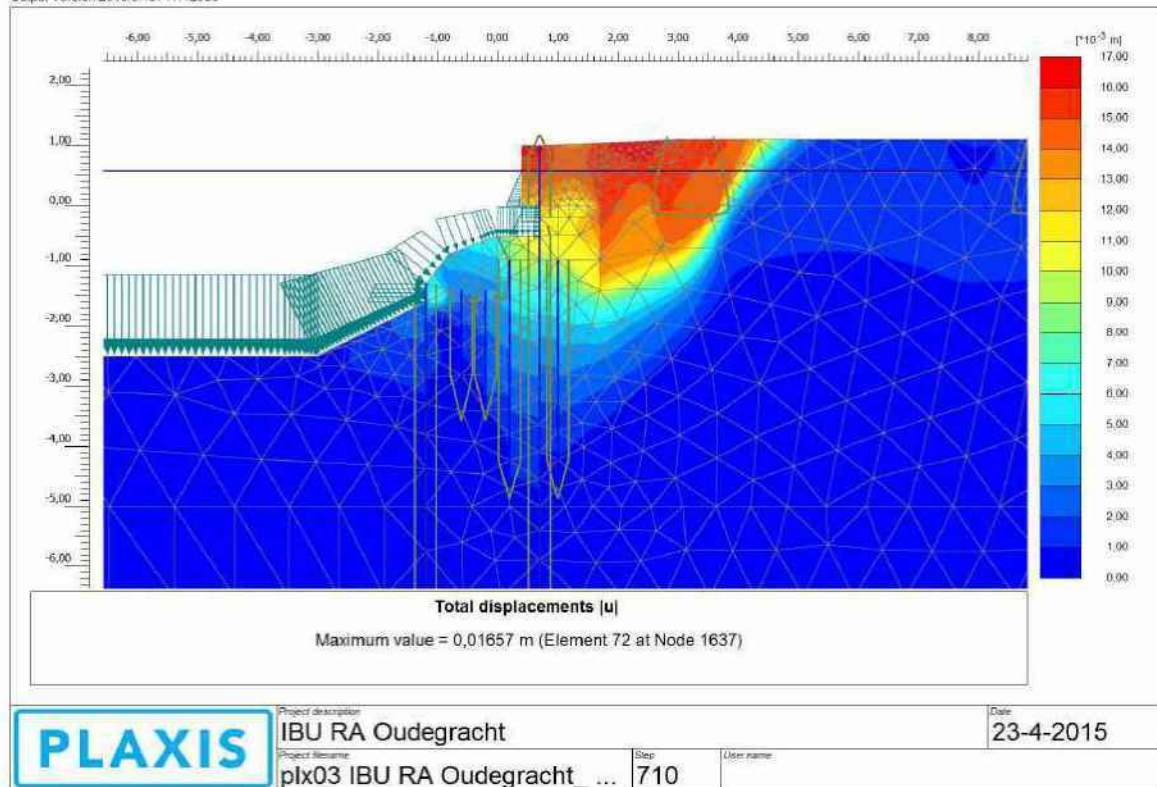
Output Version 2015.0.18717.12085



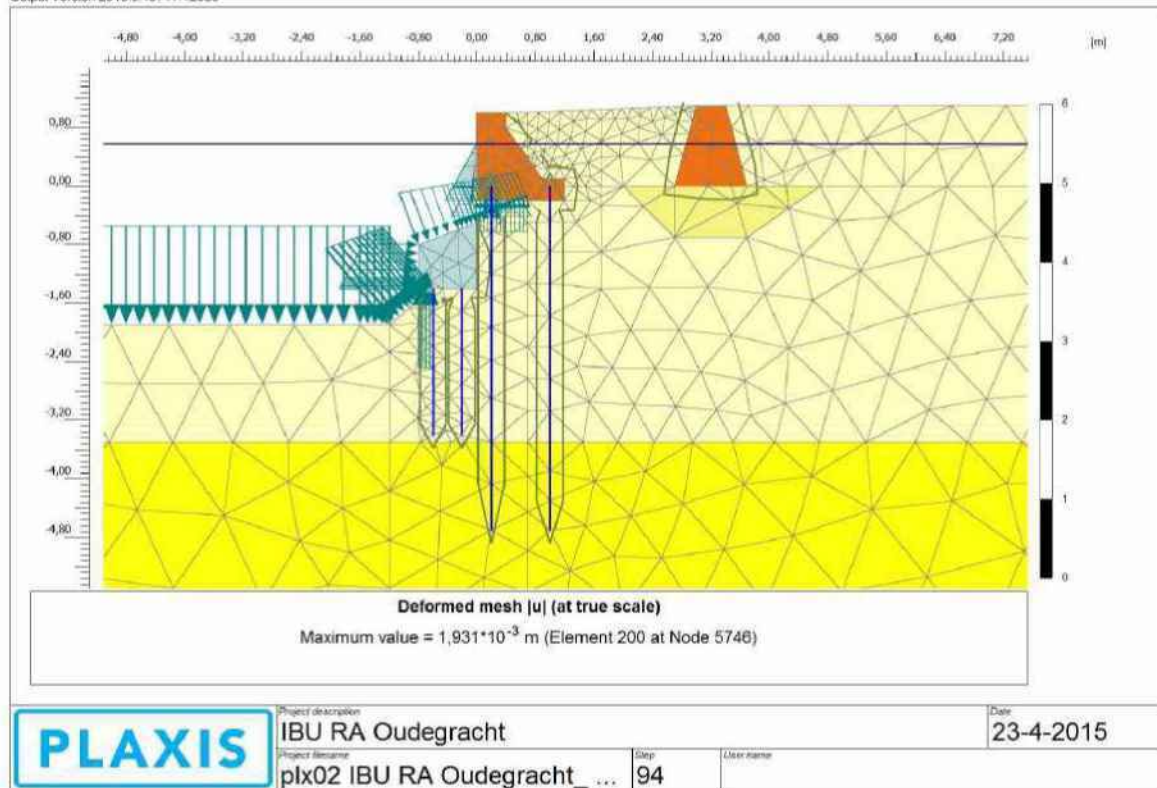
## Doorsnede 2 – Fase 10 – eindsituatie

Output Version 2015.0.18717.12085





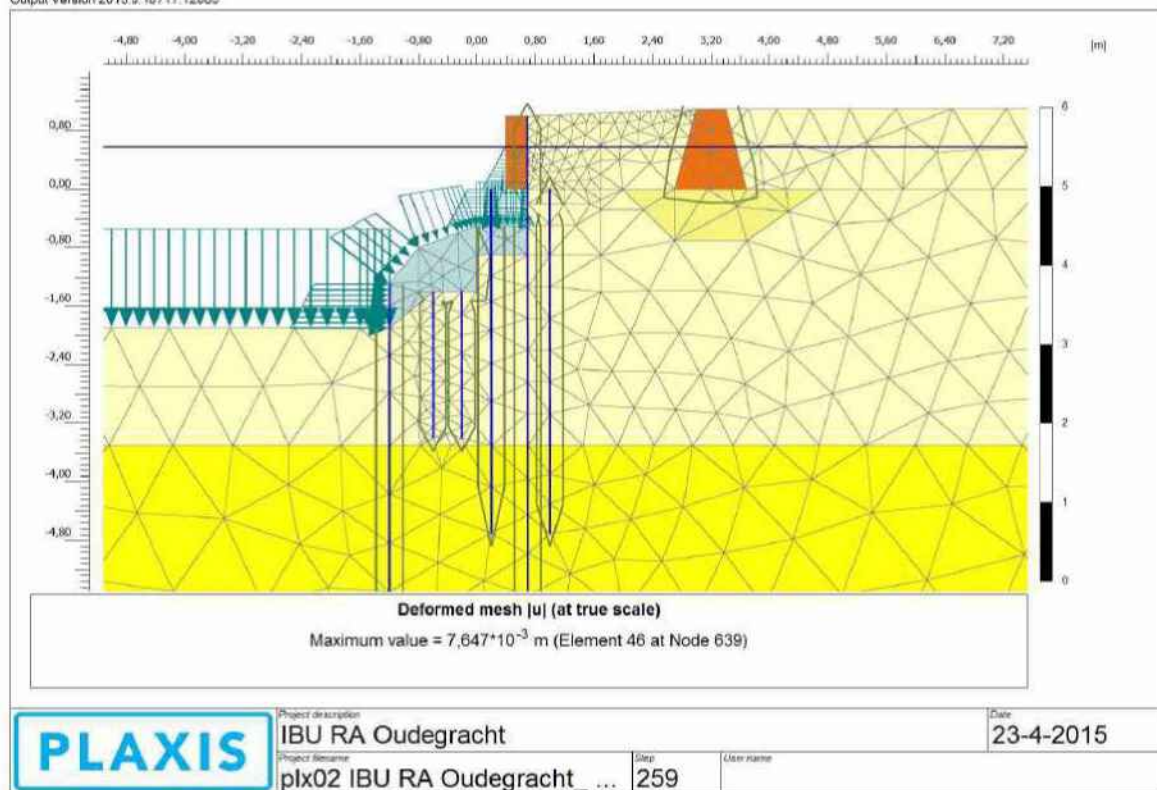
### Doorsnede 3 – Initieel



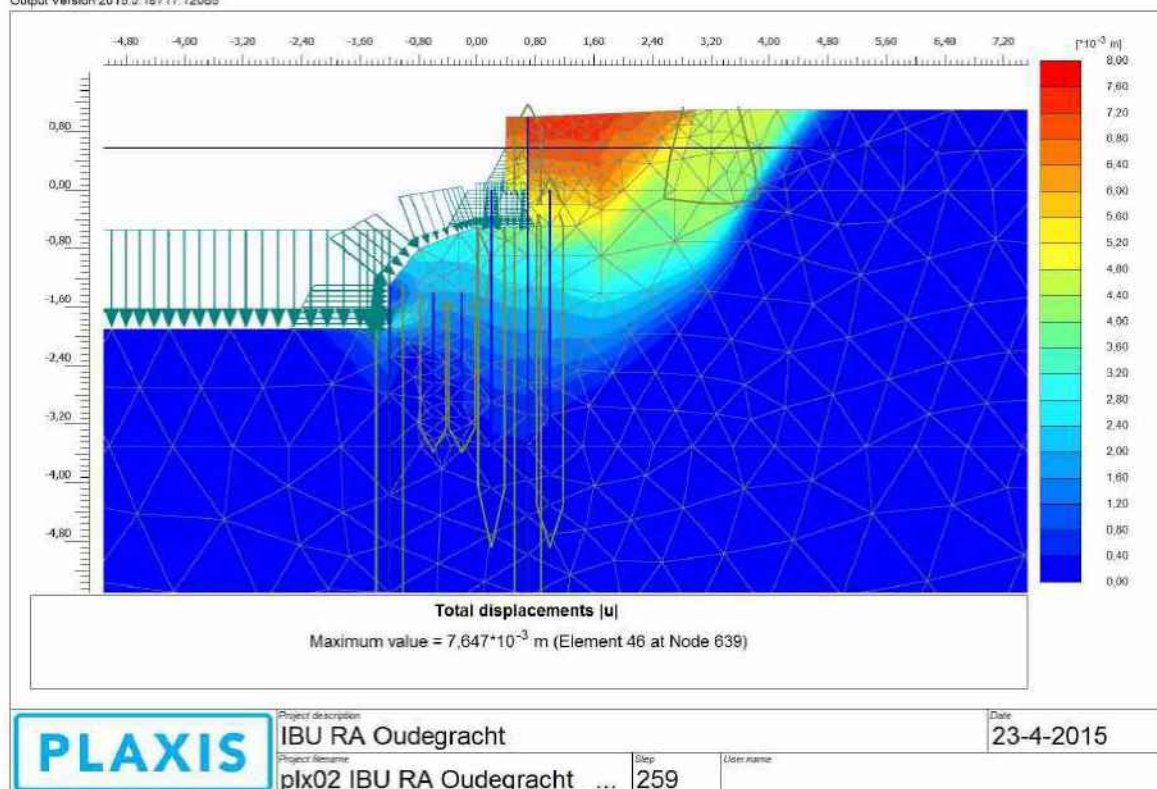


### Doorsnede 3 – Fase 10 - eindsituatie

Output Version 2015.0.18717.12085



Output Version 2015.0.18717.12085



## Bijlage III Plaxis - Gehanteerde grondparameters

### Doorsnede 1

Identification		01 ZAND, los	04 KLEI slap (B)	03 VEEN	05 ZAND, los	06 KLEI, slap	07 ZAND, los	08 ZAND, matig	02 Klei zw zandig (B)
Identification number		1	2	3	4	5	6	7	11
Material model		HS small	HS small	HS small	HS small	HS small	HS small	HS small	HS small
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
$\gamma_{\text{unsat}}$	kN/m <sup>3</sup>	17,00	14,00	10,50	17,00	14,00	17,00	18,00	15,00
$\gamma_{\text{sat}}$	kN/m <sup>3</sup>	19,00	14,00	10,50	19,00	14,00	19,00	20,00	15,00
$E_{50}^{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	39,00E3	5700	5800	23,00E3	8000	29,00E3	38,00E3	8000
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	39,00E3	2900	2900	23,00E3	4000	29,00E3	38,00E3	4000
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	155,0E3	22,90E3	30,00E3	92,00E3	49,00E3	114,0E3	153,0E3	32,00E3
power (m)		0,5000	0,9000	0,9000	0,5000	0,9000	0,5000	0,5000	0,9000
$c_{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	0,1000	5,000	5,000	0,1000	5,000	0,1000	0,1000	1,000
$\phi$ (phi)	°	30,00	17,50	15,00	30,00	17,50	30,00	32,50	22,50
$\psi$ (psi)	°	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,500	0,000
$\gamma_{0.7}$		0,1000E-3	0,2000E-3	0,1500E-3	0,1200E-3	0,1400E-3	0,1000E-3	0,1000E-3	0,2000E-3
$G_0^{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	163,0E3	52,00E3	65,00E3	116,0E3	79,00E3	134,0E3	162,0E3	63,00E3
$K_0^{\text{nc}}$		0,5000	0,6993	0,7412	0,5000	0,6993	0,5000	0,4627	0,6173
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m <sup>2</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$v_u$		0,4950	0,4950	0,4950	0,4950	0,4950	0,4950	0,4950	0,4950
$R_{\text{inter}}$		0,7000	0,7000	0,7000	0,7000	0,7000	0,7000	0,7000	0,7000

### Doorsnede 2

Identification		01 ZAND, los	04 ZAND, matig	02 Klei zw zandig (B)	03 Klei st zandig
Identification number		1	2	5	7
Material model		HS small	HS small	HS small	HS small
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Drained
$\gamma_{\text{unsat}}$	kN/m <sup>3</sup>	17,00	18,00	15,00	18,00
$\gamma_{\text{sat}}$	kN/m <sup>3</sup>	19,00	20,00	15,00	18,00
$E_{50}^{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	29,00E3	43,00E3	7000	8000
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	29,00E3	43,00E3	5400	8100
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	114,0E3	170,0E3	35,00E3	40,00E3
power (m)		0,5000	0,5000	0,9000	0,9000
$c_{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	0,1000	0,1000	2,000	2,000
$\phi$ (phi)	°	30,00	32,50	22,50	27,50
$\psi$ (psi)	°	0,000	2,500	0,000	0,000
$\gamma_{0.7}$		0,1000E-3	0,1000E-3	0,2000E-3	0,2000E-3
$G_0^{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	133,0E3	174,0E3	65,00E3	70,00E3
$K_0^{\text{nc}}$		0,5000	0,4627	0,6173	0,5383
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m <sup>2</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000
$v_u$		0,4950	0,4950	0,4950	0,4950
$R_{\text{inter}}$		0,7000	0,7000	0,7000	0,7000



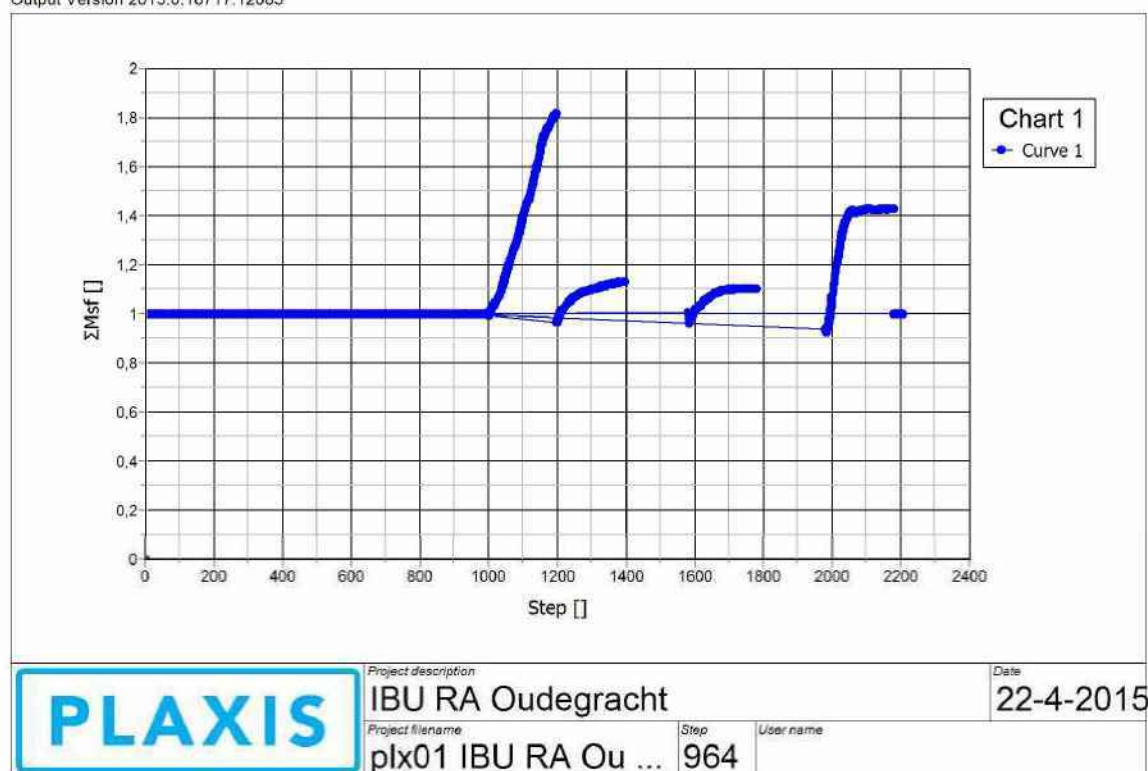
### Doorsnede 3

Identification		1 ZAND, los	2 ZAND, los	3 ZAND, matig
Identification number		3	4	5
Material model		HS small	HS small	HS small
Drainage type		Drained	Drained	Drained
$\gamma_{\text{unsat}}$	kN/m <sup>3</sup>	17,00	17,00	18,00
$\gamma_{\text{sat}}$	kN/m <sup>3</sup>	19,00	19,00	20,00
$E_{50}^{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	25,00E3	30,00E3	40,00E3
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	25,00E3	30,00E3	40,00E3
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	100,0E3	120,0E3	160,0E3
power (m)		0,5000	0,5000	0,5000
$c_{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	0,1000	0,1000	0,1000
$\phi$ (phi)	°	30,00	30,00	32,50
$\psi$ (psi)	°	0,000	0,000	0,000
$\gamma_{0.7}$		0,1000E-3	0,1000E-3	0,1000E-3
$G_0^{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	120,0E3	140,0E3	160,0E3
$K_0^{\text{nc}}$		0,5000	0,5000	0,4627
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m <sup>2</sup>	0,000	0,000	0,000
$\nu_u$		0,4950	0,4950	0,4950
$R_{\text{inter}}$		0,6700	0,6700	0,6700

## Bijlage IV Plaxis safety factor ( $\phi/c$ reductie)

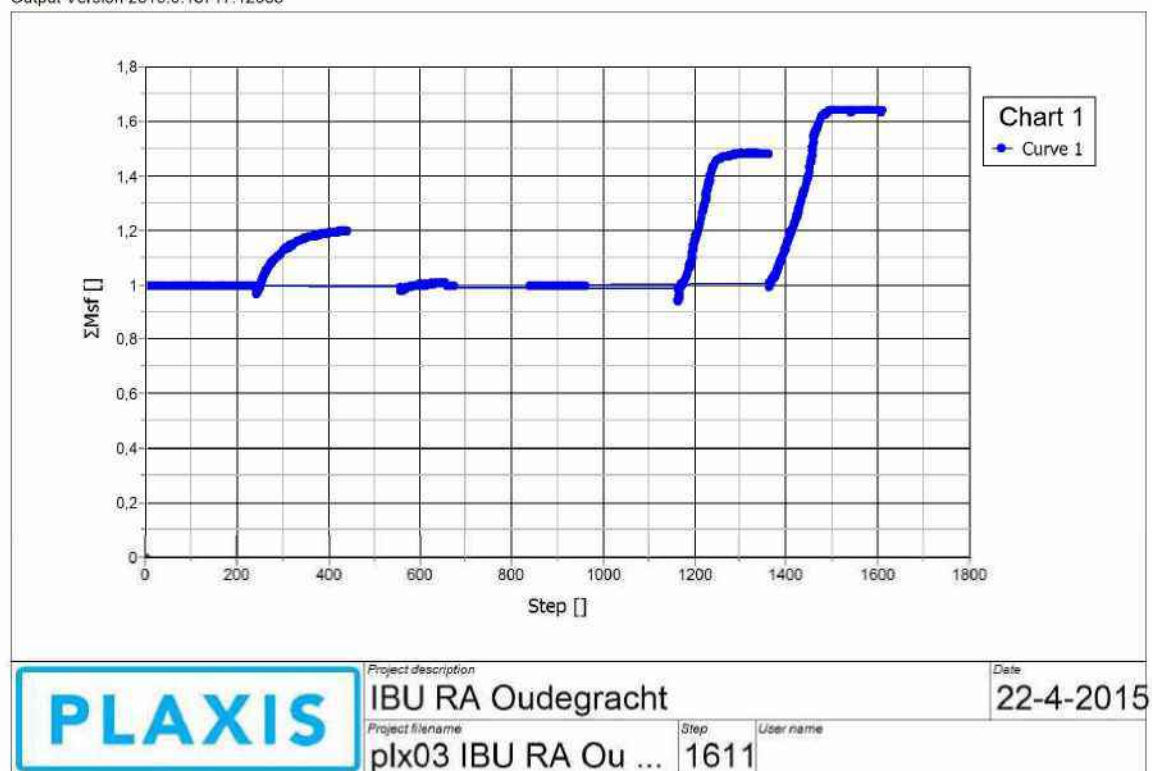
### Doorsnede 1

Output Version 2015.0.18717.12085



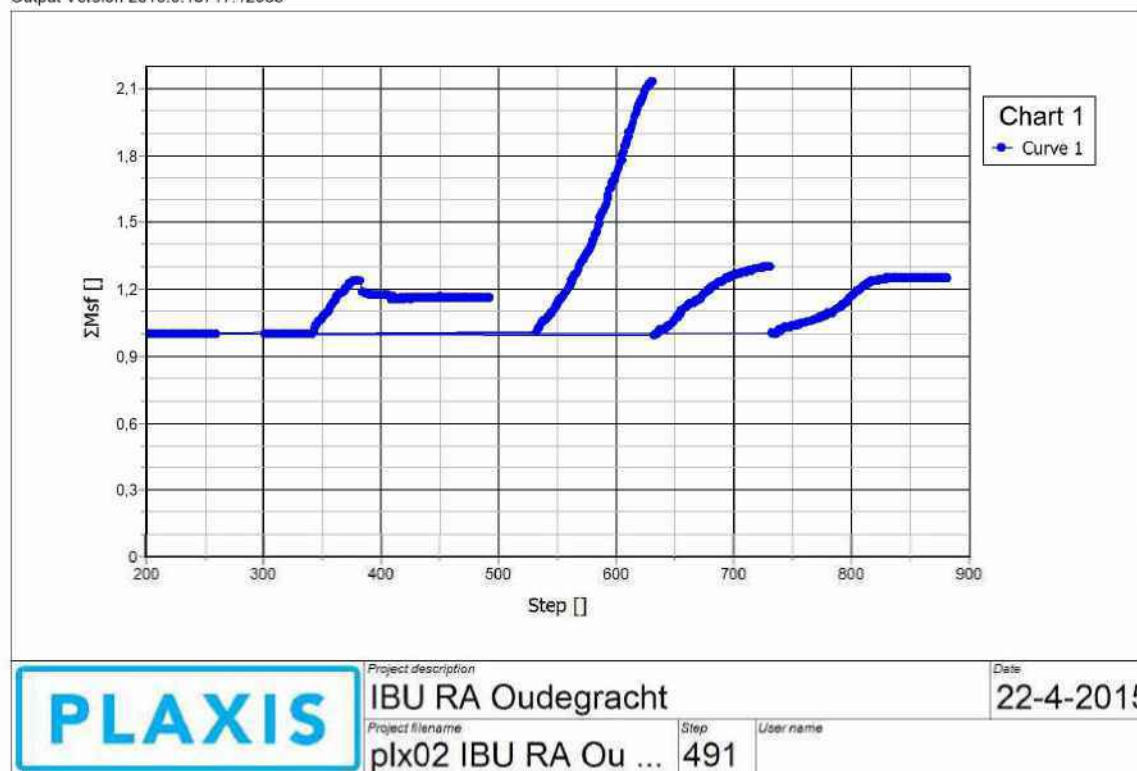
### Doorsnede 2

Output Version 2015.0.18717.12085



## Doorsnede 3

Output Version 2015.0.18717.12085

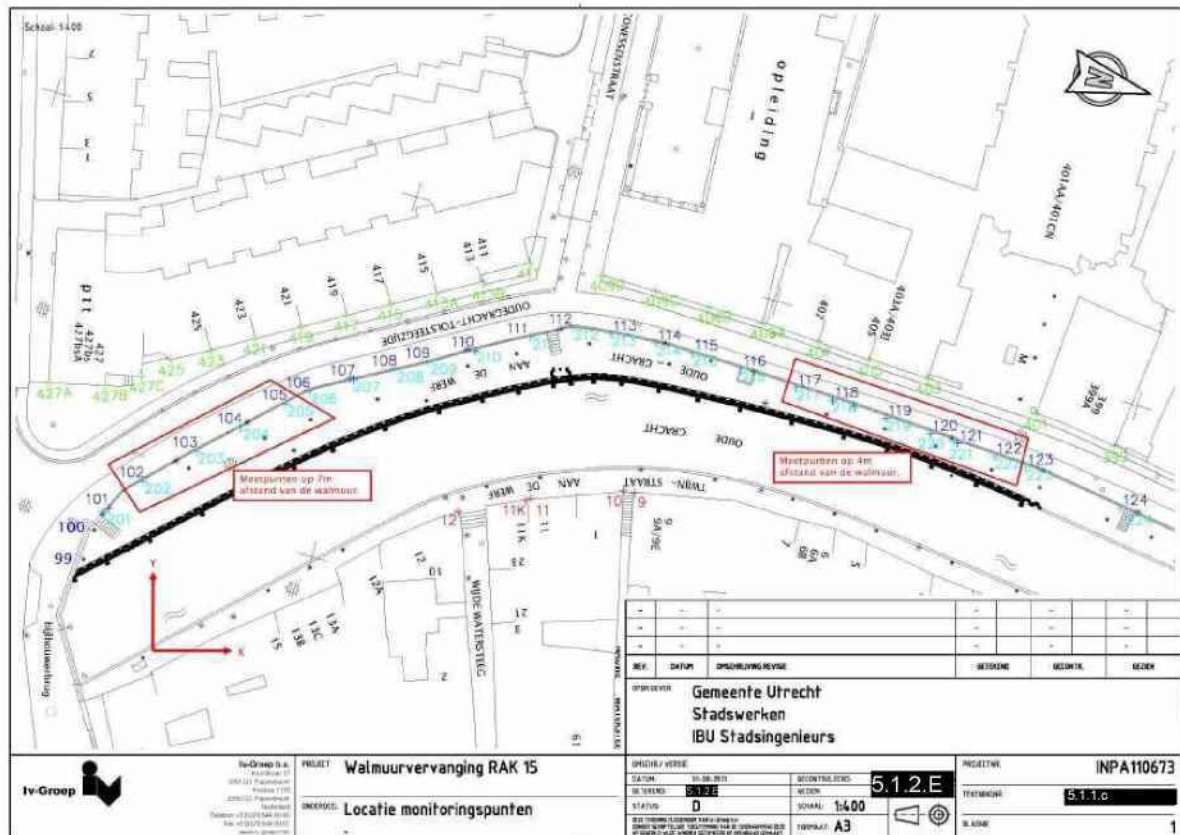






doorsnede	walmuur					bandbreedte pandeigenschappen											
		Plaxis		PIx $\Delta$ funderings- stroken		lengte pand		hoogte pand		relatieve hoekverdraaiing		horizontale rek		diagonale rek uit relatieve hoekverdraaiing		diagonale rek en horizontale rek uit angular distortion	
[-]	[-]	Uy* [mm]	Ux [mm]	Uy* [mm]	Ux [mm]	BG [mm]	OG [mm]	BG [mm]	OG [mm]	BG [1/...]	OG [1/...]	BG [%]	OG [%]	BG [-]	OG [-]	BG [%]	OG [%]
Drsn 1 - werfmuur op 3,0m afstand	Ref oplossing	-12	9	-11	8	7000	8000	3500	3000	636	727	0,114 %	0,100 %	0,000663	0,000463	0,145%	0,118%
Drsn 3 - werfmuur op 3,0m afstand	Ref oplossing	-2	2	-2	2					3500	4000	0,029 %	0,025 %	0,000121	0,000084	0,033%	0,028%

Locatie meetveld:



## Eindzettingen walmuurvervanging Rak15

op 25-04-2013 ten opzichte van de nulmeting op 08-01-2012



Bovenzijde werfmuur				Onderzijde werfmuur			
Punt	dX [mm]	dY [mm]	dZ [mm]	Punt	dX [mm]	dY [mm]	dZ [mm]
99	0.6	-2.1	-3.2				
100	1.6	-2.2	-3.4				
101	0.7	-0.2	-1.4	201	Niet te meten		
102	0.4	-3.3	-0.6	202	0.9	-2.2	0.1
103	0.9	-3.1	-2.1	203	2.7	-2.5	-0.4
104	0.8	-1.7	-1.4	204	1.1	-1.8	-1.1
105	0.7	-1.8	-1.1	205	1.3	-1.6	-1.2
106	0.1	-1.6	-1.1	206	0.6	-0.8	-1.0
107	0.4	-1.3	-0.2	207	-0.5	-1.4	-1.5
108	0.5	-2.3	-1.3	208	0.9	-2.4	-1.3
109	0.6	-2.6	-1.3	209	1.7	-3.1	-3.7
110	0.6	-2.4	-1.0	210	1.2	-2.4	-2.7
111	2.3	0.0	0.8	211	1.5	-0.1	-3.3
112	-1.1	0.2	-0.2	212	-0.5	0.4	-1.5
113	-0.8	0.0	0.5	213	-1.1	0.3	-1.6
114	-0.1	-0.3	-0.5	214	-1.0	-0.2	-0.8
115	-0.4	-0.5	-0.7	215	-0.5	-0.5	-2.0
116	-1.2	0.2	-1.0	216	-1.0	-2.6	-3.3
117	-0.5	-2.5	-3.3	217	-1.0	-3.1	-4.5
118	-0.8	-3.0	-3.3	218	-1.2	-2.0	-5.5
119	0.2	-3.5	-1.6	219	-0.1	-2.9	-4.5
120	-0.4	-2.5	-2.1	220	-0.5	-4.3	-3.0
121	-0.1	-0.5	-1.6	221	0.0	-2.0	-2.4
122	1.1	-0.1	-1.3	222	-0.1	-2.0	-2.4
123	0.8	0.6	-0.1	223	-1.3	-0.7	-0.1
124	1.2	1.6	0.2	224	2.0	0.2	1.1

Werkmuur op 7m  
afstand van  
walmuur

Werkmuur op 4m  
afstand van  
walmuur



Gemeente Utrecht Stadsingenieurs

Dhr. 

Stadskantoor


Stadsplateau 1

3521 AZ Utrecht

CRUX Engineering BV






+31(0) 



cruxbv.nl

## Notitie

Onderwerp

Gevolgen nat ipv droog  
ontgraven tpv vernieuwing  
walmuur   
te Utrecht

Projectnummer  
20419

Ons kenmerk  
NT20419a1


Versie  
1

Datum  
7 oktober 2020

Pagina's  
3

Opgesteld 

Gecontroleerd 



Vrijgave 

Bijlagen

Formulier  
RA-03-v19.1113


## 1 Inleiding

### 1.1 Algemeen

 BV is in opdracht van Gemeente Utrecht Stadsingenieurs een risicoanalyse uitgevoerd van de beïnvloeding van de werfmuren en keldergewelf aan de  (RAK 11 oost) ten gevolge van de renovatie van de walmuren (RA20419a1, d.d. 4 september 2020). Aanleiding is dat door Bouw- en Woningtoezicht recent een ernstige scheur is ontdekt in het keldergewelf onder het pand 230.

Uitgangspunt in risicoanalyse RA20419a1 [1] is dat de renovatie en werkzaamheden van deze walmuren in den droge, dus middels een grondwaterstandsverlaging, worden uitgevoerd.

Door de Gemeente Utrecht is vervolgens aan CRUX gevraagd [2] om een kwalitatieve uitspraak te doen wat de gevolgen zijn als de renovatie van de walmuur in den natte wordt uitgevoerd in plaats van in den droge.

De locatie van de werkzaamheden is aangegeven in 



Figuur 1 Projectlocatie<sup>1</sup> [1]

<sup>1</sup> ondergrond © Google and third-party suppliers

In onderstaand Figuur 2 is een aanzicht gegeven van het keldergewelf onder het pand.



Figuur 2 Aanzicht keldergewelf Oudegracht nr. 230 [1]

## 1.2 Referenties

De volgende documenten zijn gehanteerd bij het opstellen van deze notitie:

- [1] CRUX BV; rapport *Risicoanalyse vernieuwing walmuur Oudegracht 230 te Utrecht*; kenmerk RA20419a1; dd 04-09-2020
- [2] IBU Stadsingenieurs; email van dhr. 5.1.2E RE: RA20419a1 RA vernieuwing walmuur 5.1.2.e dd 29-09-2020

## 2 Resumé resultaten risicoanalyse

In rapport RA20419a1 [1] zijn de grondvervormingen achter de walmuur bepaald middels een Plaxis 2D berekening ten gevolge van de renovatie van de walmuur bij het pand 5.1.2.e. Uit de berekeningen volgt een maximale zetting van ca. 0,6mm ter plaatse van de werfmuur grachtzijde en 0,25mm ter plaatse van de opgetreden scheur in het keldergewelf.

Op basis van het berekende vervormingsverloop ter plaatse van de werfkelder en locatie van de opgetreden scheur is in [1] aangegeven dat door de constructeur moet worden getoetst of deze vervormingen toelaatbaar zijn voor het keldergewelf in ter hoogte van pand 5.1.2.e

## 3 Kwalitatieve beschouwing

Aangezien het een kwalitatieve beschouwing betreft, is in overleg met de Gemeente geen nieuwe Plaxis 2D berekening uitgevoerd [2]. In deze fase volstaat een kwalitatieve toelichting op het effect van een renovatie in den natte, dus zonder grondwaterstandsverlaging.

Indien de werkzaamheden in den natte (zonder bemaling) worden uitgevoerd in plaats van in den droge (met bemaling, zoals in RA20419a1), kan het volgende worden geconcludeerd:

- Zettingsaandeel door het verlagen van de grondwaterstand in de omgeving treedt dan niet op, omdat een eventuele spanningsverhoging in de ondergrond, door de verlaging van de waterstand, niet optreedt. Dit aandeel was echter eerder al rekenkundig verwaarloosbaar gering  $< 1\text{mm}$ , hetgeen komt door de

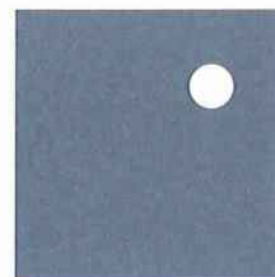
aanwezigheid van de zandige bodemopbouw (op basis van het beschikbaar onderzoek), welke niet zakkingsgevoelig is voor grondwaterstandsverlagingen. Uit oogpunt van de invloed van de bemaling op de omgeving levert het in den natte werken dus geen meetbaar reductie-effect op.

- In de omgeving, waar mogelijk wel cohesieve (zakkingsgevoelige) lagen in de ondergrond aanwezig zijn, treden zettingen, ten gevolge van een verlaging van de waterstand en daarmee spanningsverhoging op deze cohesieve lagen, niet op omdat niet wordt bemalen.
- Door de aanwezigheid van de waterdruk binnen de ontgraving kan iets minder vervorming van de kerende constructie optreden. Dit leidt echter op de afstand van de welfmuur (op 3,2m van de walmuur) rekenkundig tot een niet merkbare reductie van de vervormingsinvloed. Het wordt daarbij benadrukt dat ook de vervormingsinvloed met bemaling, dus bij in den droge werken, ter plaatse van de welfmuur reeds verwaarloosbaar gering is. Het in den natte werken levert daarom ook voor dit aspect geen rekenkundig aantoonbaar reductie-effect ter plaatse van de welfmuur op.

Resumerend heeft de vervanging van de walmuur in den natte (zonder bemaling) in plaats van in den droge (met bemaling) een rekenkundig verwaarloosbaar gering reductie-effect op de zetting van de belendingen ter plaatse van de walmuur en de kelder 5.1.2.e ten opzichte van de methode met open bemaling. De reeds met de open bemaling beschouwde invloed is immers rekenkundig al als reeds verwaarloosbaar gering te beschouwen.

Mocht u naar aanleiding van deze memo nog vragen hebben dan kunt u contact opnemen met ing. 5.1.2E 5.1.2E





Adres: Gemeente Utrecht, Stadswerken,  
IBU Stadsingenieurs  
Postbus 8375

5.1.2.e

Tel

Fax

Projectnummer 10226

Documentnummer RA10226c

Versie I

Opgesteld

5.1.2E 5.1.2E

5.1.2E

Gecontroleerd

5.1.2E 5.1.2E

5.1.2E

Vrijgave

5.1.2E 5.1.2E

Datum

06-10-2011

### Rapport [RA10226cI]

Risicoanalyse restauratie walmuren

5.1.2.e

© 2011 CRUX Engineering BV

Niets uit dit drukwerk mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt, in enige vorm op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, microfilm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van CRUX Engineering BV, noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

Documentlocatie:

P:\10226\_2 IBU kluis en walmuren RA MP\docs\RA10226cI IBU risicoanalyse rak 15\_.docm

# Inhoudsopgave

1	INLEIDING .....	3
1.1	Algemeen .....	3
1.2	Leeswijzer .....	3
2	UITGANGSPUNTEN .....	4
2.1	Documenten .....	4
2.2	Programmatuur .....	4
2.3	Uitgangspunten ontwerp.....	4
2.4	Grondopbouw .....	6
3	AANPAK OMGEVINGSBEÏNVLOEDING.....	7
3.1	Inleiding.....	7
3.2	Beschouwde invloedsbronnen .....	7
3.3	Statisch drukkend inbrengen damwanden.....	7
3.4	Groutinjectiepalen .....	8
3.5	Schadeclassificatiesysteem conform BRE.....	8
4	BEREKENDE GRONDVERVORMINGEN .....	10
4.1	Algemeen .....	10
4.2	Plaxis model.....	10
4.3	Fasering.....	11
4.4	Resultaten berekening.....	11
4.5	Toetsing van de berekende vervormingen .....	14
4.5.1	Vershilvervorming en stabiliteit.....	14
4.5.2	Schadeklasse BRE.....	15
5	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN .....	17
5.1	Conclusies.....	17
5.2	Aanbevelingen / additionele risico's.....	17
5.3	Monitoring.....	18

## Lijst van Figuren

Figuur 1	Globale locatie werkzaamheden en beschouwde doorsneden [6] .....	3
Figuur 2	beschouwde principe oplossing "Herstel lage walmuren" [2] .....	5
Figuur 3	beschouwde doorsnede [6].....	5
Figuur 4	Plaxis model – fase 5 (plx09).....	10
Figuur 5	Locatie beschouwde vervormingen fundering werfmuur.....	11
Figuur 6	Berekende verticale verplaatsing werfmuur (Uy); drsn AA' (4,0m afstand van walmuur) .....	12
Figuur 7	Berekende horizontale verplaatsing werfmuur (Ux); drsn AA' (4,0m afstand van walmuur) .....	12
Figuur 8	Berekende verticale verplaatsing werfmuur (Uy); drsn BB' (7,0m afstand van walmuur) .....	13
Figuur 9	Berekende horizontale verplaatsing werfmuur (Ux); drsn BB' (7,0m afstand van walmuur) .....	13
Figuur 10	Schadeklasse BRE o.b.v. relatieve hoekverdraaiing en horizontale rek (Boscardin).....	15

## Lijst van Tabellen

Tabel 1 Gehanteerde grondopbouw rak 15.....	6
Tabel 2 schade classificatiesysteem conform BRE .....	9
Tabel 3 Fasering Plaxis model .....	11
Tabel 4 Resultaten Plaxis berekening per doorsnede .....	14
Tabel 5 Berekende relatieve hoekverdraaiing.....	16

## Lijst van Bijlagen

Bijlage I Resultaten Plaxis berekening
Bijlage II Grondonderzoek [4]



# 1 Inleiding

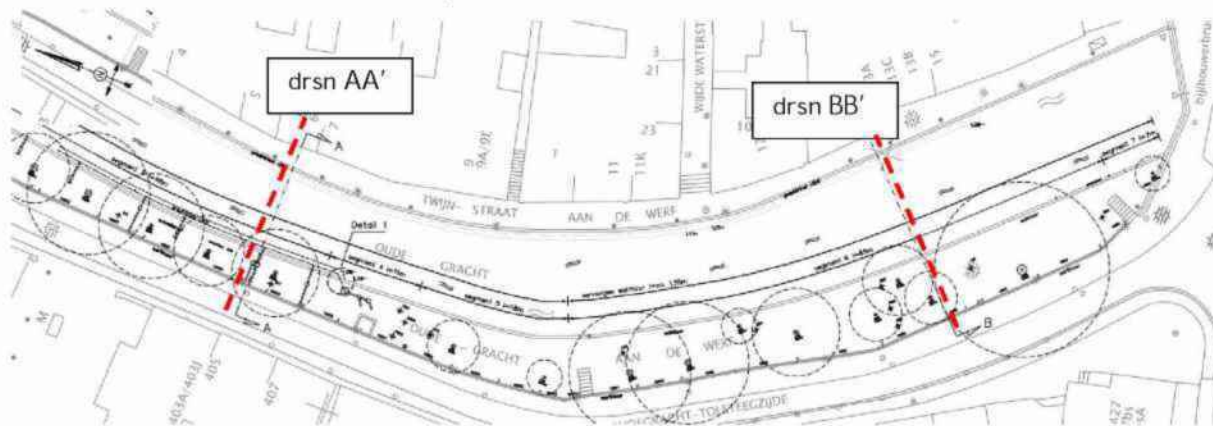
## 1.1 Algemeen

5.1.2e BV, hierna CRUX, is in opdracht van IBU Stadsingenieurs een analyse van de omgevingsbeïnvloeding uitgevoerd van de werkzaamheden ten behoeve van de reconstructie van de walmuren ter plaatse van rak 15 (Westzijde) Oude Gracht te Utrecht.

Een analyse van de omgevingsbeïnvloeding wordt uitgevoerd om in het ontwerpstadium met de gevolgen van bouwwerkzaamheden in binnenstedelijke omgeving rekening te kunnen houden. Het doel hiervan is om het ontwerp, de keuzes voor de bouwmethodes en mogelijke preventieve mitigerende maatregelen zodanig te optimaliseren, dat de kans op schade rekenkundig beperkt blijft tot aanvaardbare minimale (esthetische) schade aan de bestaande constructies. Op basis van de analyse kunnen alarm- en grenswaarden voor schade veroorzakende bronnen (trillingen, vervormingen etc.) worden bepaald. Deze waarden worden opgenomen in een monitoringsplan.

De analyse is uitgevoerd voor de belendende op staal gefundeerde werfmuren. Op de projectlocatie zijn een tweetal doorsneden beschouwd, zie Figuur 1:

- doorsnede AA' - werfmuur op 4,0m afstand van de walmuur;
- doorsnede BB' - werfmuur op 7,0m afstand van de walmuur.



Figuur 1 Globale locatie werkzaamheden en beschouwde doorsneden [6]

In [2] worden een tweetal varianten besproken voor de reconstructie van de walmuur, te weten:

- het plaatsen van een stalen damwand welke zal dienen als grondkering en fundering van de walmuur (principe oplossing);
- Als alternatief wordt uitvoering met behulp van een groutpalenwand voorgesteld. Hierbij wordt, voorafgaand aan de reconstructie van het metselwerk binnen een bouwkuip, de groutpalenwand aangebracht.

## 1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de uitgangspunten behandeld. Hoofdstuk 3 gaat in op de omgevingsbeïnvloeding. In hoofdstuk 4 worden de berekende verplaatsingen berekend en getoetst. In hoofdstuk 5 worden ten slotte de conclusies uit de vorige hoofdstukken samengevat en wordt een aantal aanbevelingen gedaan.

## 2 Uitgangspunten

### 2.1 Documenten

De volgende documenten zijn gehanteerd bij het opstellen van dit rapport:

- [1] IBU Stadsingenieurs, *Offerte aanvraag Monitoringsplan restauratie kluis- en walmuren*, projectnummer 402.20221, d.d. 28 april 2010;
- [2] IBU Stadsingenieurs; *Ontwerprichting Herstel lage walmuren*; kenmerk; 402.10390 versie 2.0; d.d. 20 april 2011;
- [3] Ingenieursbureau Gemeentewerken Rotterdam, *Rapport Utrecht, Reconstructie walmuren rak 6 en 15, Geotechnische aspecten*, projectcode 2009-094/A HT173, d.d. 9 maart 2010;
- [4] Wiha grondmechanica; *Rapport Sonderingen, Oude Gracht te Utrecht*; kenmerk WN-19396; d.d. 16-10-2009;
- [5] IBU Ingenieursbureau Utrecht; *Rapport Bemalingsplan werkzaamheden rak 15, Oude Gracht te Utrecht*; kenmerk 402.30934.102.001; d.d. 26 april 2010;
- [6] IBU Stadsingenieurs; *Tekening Reconstructie walmuren rak 15 westzijde Bestaande situatie*; tekeningnummer 10390.BTC.040-150 versie 0; d.d. 4 juli 2011;
- [7] IBU Stadsingenieurs; *Tekening Reconstructie walmuren rak 15 westzijde Nieuwe situatie 15W1 t/m 15W12*; tekeningnummer 10390.BTC.040-151 versie 0; d.d. 4 juli 2011;
- [8] IBU Stadsingenieurs; *Tekening Reconstructie walmuren rak 15 westzijde Nieuwe situatie 15W13 t/m 15W23*; tekeningnummer 10390.BTC.040-152 versie 0; d.d. 4 juli 2011;
- [9] CRUX Engineering BV; *Rapport Risicoanalyse restauratie kluiswanden RAK 6 en RAK 7 te Utrecht*; kenmerk RA10226a2; d.d. 15 september 2010.

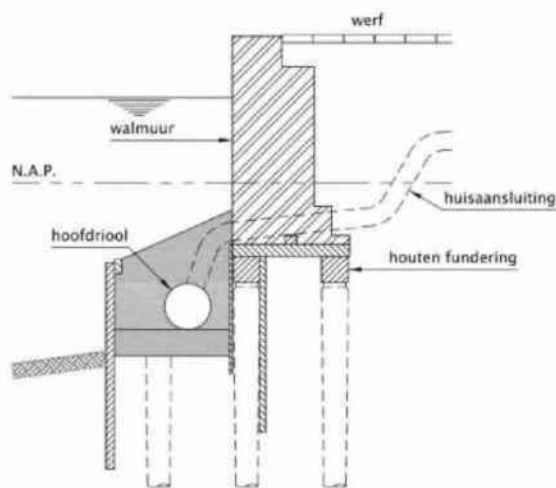
CRUX staat niet in voor de juistheid en/of volledigheid van de door derden verstrekte informatie en gegevens.

### 2.2 Programmatuur

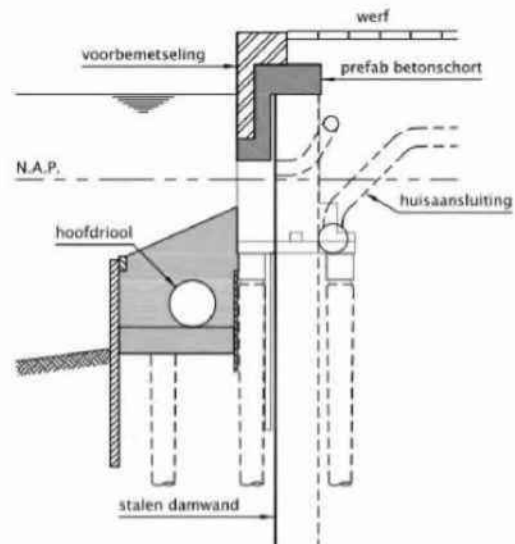
De berekeningen zijn uitgevoerd met het eindige-elementenprogramma Plaxis 9.02 2D.

### 2.3 Uitgangspunten ontwerp

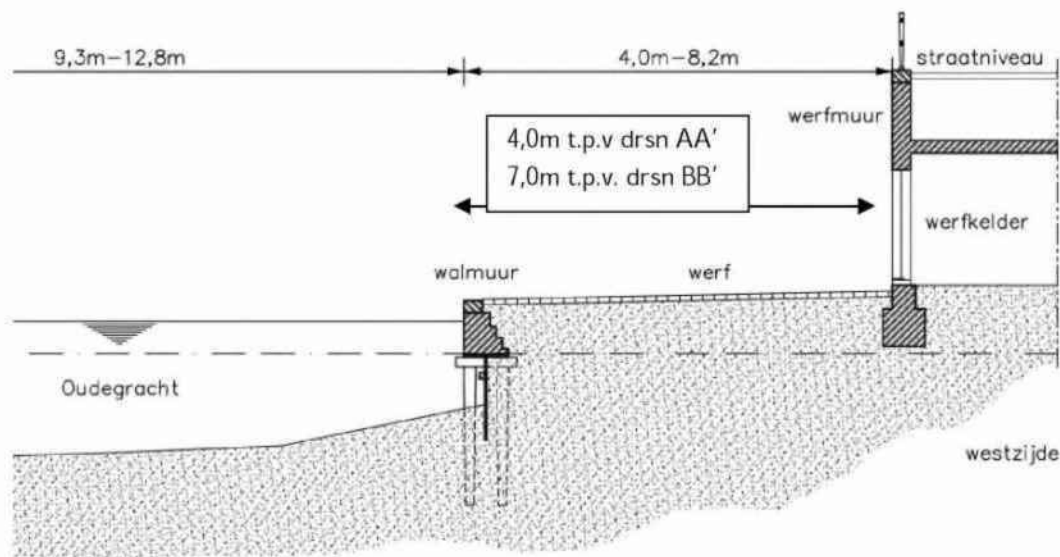
In Figuur 2 is de beschouwde principe oplossing voor het herstel van de lage walmuren weergegeven. De bestaande (op houten palen gefundeerde) walmuur zal worden vervangen door een stalen damwand waarop, met behulp van een prefab betonschort, het metselwerk zal worden aangebracht. In Figuur 3 is de beschouwde doorsnede weergegeven.



Principedoorsnede bestaande situatie (type 1)



Figuur 2 beschouwde principe oplossing "Herstel lage walmuren" [2]



Figuur 3 beschouwde doorsnede [6]

Onderstaande uitgangspunten zijn gehanteerd ten behoeve van de berekeningen.

- Waterbodenniveau NAP -1,8m oplopend tot circa NAP -1,0m ter plaatse van de walmuur [6];
- (Grond)waterstand NAP +0,58m;
- Voor de aanleg van rioolkisten in 5.1.2e Gracht is in de jaren '80 van de vorige eeuw gedurende acht tot negen maanden een bemaling actief geweest voor een bouwkuip waarin de waterstand is verlaagd tot circa NAP -2,30m [1];
- Ten behoeve van de herstelwerkzaamheden wordt een hulpdamwand in de gracht geplaatst (statisch gedrukt). In de berekeningen is een AZ14 damwandprofiel gehanteerd met een damwandvoetniveau van NAP -6,5m [3];
- De permanente damwand (profiel AZ14) heeft een voetniveau van NAP -7,0m [3];



- De hulpdamwand wordt gestempeld op een hulpconstructie aan de achterzijde van de walmuur of, als de ruimte dit toelaat, op de ondergrond. In de berekeningen is, conform [3], een stempelniveau van NAP +0,5m gehanteerd. Gezien de beperkte ruimte tot de werfkelder is als aanname ten behoeve van de berekening gekozen voor een hulpconstructie (staalprofielen) met een voetniveau van NAP -1,3m. Opgemerkt wordt dat het ontwerp van de hulpconstructie niet vastligt in een ontwerp en dit derhalve een aanname betreft.
- De hulpdamwand wordt statisch getrokken;
- Rak 15:
  - Er wordt vanuit gegaan dat de werfmuren op staal gefundeerd zijn. In de berekeningen is een funderingsniveau van NAP +0,0m aangehouden [6];
  - Funderingsbreedte van de werfmuur is aangehouden op 1,0m;
  - Voor de funderingsbelasting van de werfmuur is (uitgaande van een funderingsbreedte van 1,0m) een belasting van  $F_{s,fund;rep}$  van 60 kN/m<sup>2</sup> aangehouden, dit komt overeen met de aangehouden waarde voor de kluisuren van rak 6 [9];

## 2.4 Grondopbouw

De gehanteerde grondwaterstand bedraagt NAP +0,58m. De gehanteerde grondopbouw ter plaatse van de werfmuur van rak 15 is weergegeven in <sup>5.1.2.e</sup> De grondparameters voor de Plaxis berekening zijn via correlaties vastgesteld aan de hand van de sonderingen en tabel 1 uit de Nederlandse Norm NEN 6740 (2<sup>e</sup> druk, 2006). Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van het Hardening Soil Small Strain Stiffness (HSSmall) model.

Tabel 1 Gehanteerde grondopbouw rak 15

Naam	bk laag m NAP	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_{sat}$ kN/m <sup>3</sup>	$c'$ kPa	$\phi'$ Graden	$E'_{50;ref}$ MPa
1 Toplaag	1	17	19	0,0	30,0	19
2 KLEI humeus	0,5	13	13	7,0	15,0	3'
3 ZAND los	-1,3	17	19	0,0	30,0	26
4 ZAND matig	-3	18	20	0,0	32,0	46
5 ZAND los	-10,5	17	19	0,0	30,0	19
6 ZAND matig	-11,5	18	20	0,0	32,0	34
7 ZAND vast	-19	19	21	0,0	32,5	47

<sup>1</sup> Voor de kleilaag is gebruik gemaakt <sup>5.1.2.e</sup> Coulomb model ( $E_{rel}$ )

## 3 Aanpak omgevingsbeïnvloeding

### 3.1 Inleiding

Door bouwwerkzaamheden in stedelijke omgeving kunnen trillingen en spanningsveranderingen in de grond worden veroorzaakt. De spanningsveranderingen en trillingen in de grond kunnen leiden tot grondvervormingen (zettingen en horizontale vervormingen), die zich in een bepaald invloedsgebied rondom de bouwwerkzaamheden uitstrekken. Bestaande constructies (gebouwen en leidingen) die zich in dit invloedsgebied bevinden, ondergaan via de fundering deze (verschil)grondvervormingen en kunnen daardoor mogelijk schade ondervinden. De mogelijke schaderisico's door zettingen en trillingen dienen, in het kader van een risicoanalyse, middels de huidig ter beschikking staande voorspellingsmethodieken voor iedere projectspecifieke situatie rekenkundig te worden onderzocht. Hierbij dient rekening te worden gehouden met de grondgesteldheid, de uitvoeringsmethode en het incasseringsvermogen van de belendende constructies (constructietype, conditie en funderingswijze).

### 3.2 Beschouwde invloedsbronnen

De omgevingsbeïnvloeding is uitgevoerd voor de belendende op staal gefundeerde werfmuren. De volgende invloedsbronnen zijn rekenkundig beschouwd:

- Het verlagen van de grondwaterstand;
- Het slopen van de bestaande walmuur;
- Het verwijderen van de hulpdamwand.

Aangezien de hulpdamwanden statisch drukkend worden ingebracht en de walmuur in zijn geheel wordt vervangen is de invloed van het inbrengen van de damwanden (mogelijke inklinking van de zandlagen) niet beschouwd.

De hulpdamwand wordt gestempeld op een hulpconstructie aan de achterzijde van de walmuur of, als de ruimte dit toelaat, op de ondergrond. Gezien de korte afstand tot de werfmuur wordt het onzorgvuldig inbrengen en/of de keuze voor een constructie die niet voldoende stijfheid bezit als groot risico voor additionele verplaatsing van de werfmuur gezien, welke niet rekenkundig is te kwantificeren. Het onder vrij talud ontgraven en stempelen op de ondergrond wordt om dezelfde reden afgeraden.

### 3.3 Statisch drukkend inbrengen damwanden

Zoals reeds is aangegeven worden tengevolge van het statisch drukkend inbrengen van de damwandplanken geen additionele grondvervormingen tengevolge van inklinking van losgepakte zandlagen verwacht.

Uit enkele projecten is echter gebleken dat het op korte afstand in de passieve zone van een bestaande grondkering statisch drukkend inbrengen van damwandplanken gepaard kan gaan met vervormingen van de betreffende grondkering. Deze vervormingen worden waarschijnlijk veroorzaakt door het meevoeren van grond bij het inbrengen van de damwanden. De vervormingen kunnen naar verwachting ook veroorzaakt worden doordat bij het indrukken van de damwandplanken de machine zijn reactiekracht ontleend aan de reeds ingebrachte damwanden welke binnen de passieve zone van de bestaande grondkering zijn geplaatst en derhalve een spanningsverandering van de grond binnen de passieve zone veroorzaken.

De aannemer dient met mogelijke vervormingen bij het inbrengen van de damwandplanken rekening te houden door de vervormingen van de kluismuren tijdens het inbrengen van de damwandplanken

regelmatig te monitoren en de damwandplanken tijdens het plaatsen zo min mogelijk 'op en neer' te bewegen. De invloed van het trekken van de hulpdamwanden is rekenkundig indicatief bepaald.

### 3.4 Groutinjectiepalen

Indien gekozen wordt voor funderingsherstel doormiddel van groutinjectiekolommen zal, indien deze werkzaamheden correct worden uitgevoerd, marginale beïnvloeding van de omgeving plaatsvinden (geen trillingen en minimale vervormingen) en derhalve naar verwachting niet leiden tot schade aan belendingen.

Indien op locaties voor een groutpalenwand wordt gekozen moet er rekening mee worden gehouden dat de wand niet helemaal waterdicht kan worden verondersteld. Tengevolge van schaduwwerking door de aanwezige houten fundering zal niet overal een volledige groutkolom kunnen worden gerealiseerd. Om dezelfde reden wordt het aanbevolen om bij het ontwerp van de groutpalenwand hiermee rekening te houden door de rekenkundige sterkte van de groutpalenwand in het ontwerp niet volledig te benutten.

Een risico bij het maken van een groutpalenwand ter plaatse van de bestaande walmuurconstructie is dat de buizen voor de retourspoeling verstopt kunnen raken door meegevoerd hout en puin uit de ondergrond. Indien de retourleiding verstopt raakt (drukopbouw) moet onmiddellijk gestopt worden met het maken van de paal en moet de verstopping worden verholpen.

### 3.5 Schadeclassificatiesysteem conform BRE

De berekende vervormingen van de werfmuur worden gerelateerd aan empirisch afgeleide observaties tussen rekken en optredende schade. Verschillende mate van scheurvorming zijn met het oog op de mogelijkheid van schadereparatie (scheurreparatie) gerelateerd aan een schadeclassificatiesysteem van het Building Research Establishment (BRE), zie Tabel 2.


De perceptie van schade is subjectief en duidelijk cultuurgebonden. Vaak worden ook binnen een project verschillende acceptabele niveaus gedefinieerd, bijvoorbeeld afhankelijk zijn van:

- Functie/status (monumentaal pand)
- Constructietype (metselwerk, betonconstructie, slanke hoge gebouwen)



Tabel 2 schadeclassificatiesysteem conform BRE

Schadecategorie	Schadeklasse
Esthetische, architectonische schade	<i>Verwaarloosbaar</i>
	<i>Zeer licht</i>
	<i>Licht</i>
Functionele Schade	<i>Matig</i>
	<i>Ernstig</i>
Constructieve Schade (Stabiliteitsproblemen)	<i>Zeer ernstige schade</i>

Door de gekozen conservatieve berekeningsaannamen (geen beschouwing van interactie tussen gebouw en grond) wordt rekenkundig een bovengrens van de te verwachten schade bepaald. Als acceptabele grens in de ontwerp praktijk wordt de schadeklasse "lichte" esthetische schade aangehouden (zie groen gearceerd gebied in  5.1.2.e).

## 4 Berekenende grondvervormingen

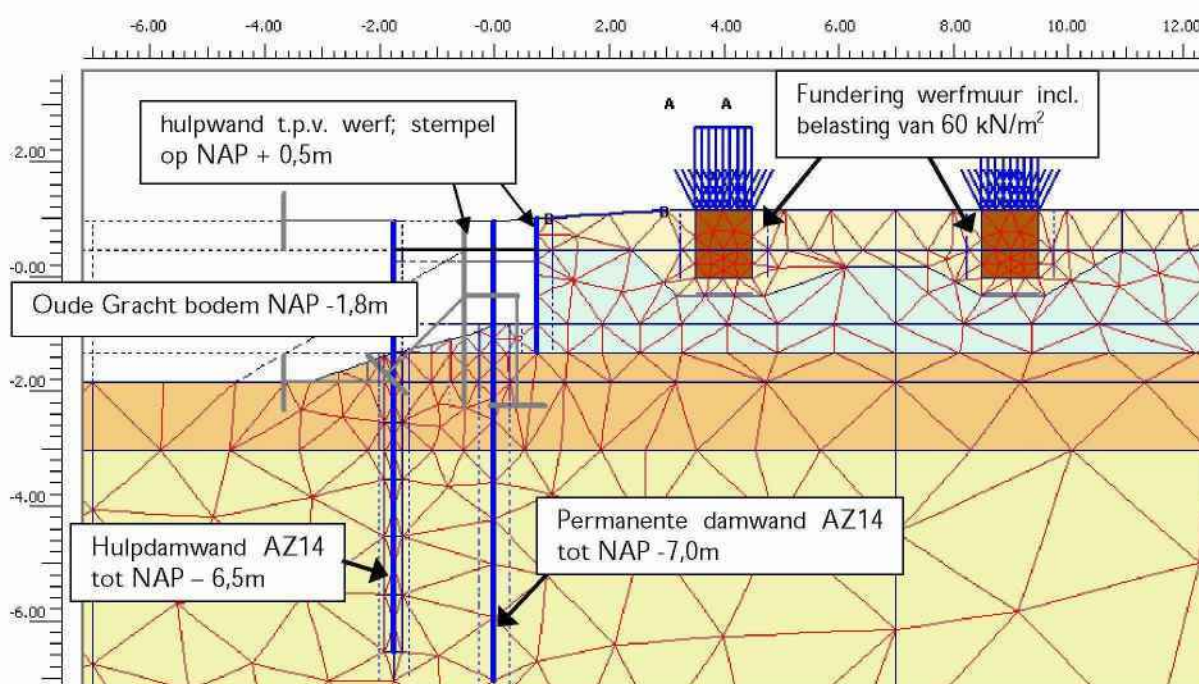
### 4.1 Algemeen

In deze paragraaf wordt de vervorming van de werfmuur als gevolg van de werkzaamheden met behulp van het computerprogramma Plaxis gekwantificeerd. Met dit programma is het mogelijk de spannings- en vervormingstoestand en de stabiliteit van een grondmassief met een gecompliceerde geometrie te beschouwen. De geometrie wordt ingedeeld in elementen. Aan elk element worden materiaaleigenschappen toegekend zoals eigen gewicht, stijfheid en sterkte. Er wordt een stelsel niet lineaire vergelijkingen opgesteld waarvan met behulp van numerieke oplosmethoden op iteratieve wijze de oplossing wordt benaderd. Zowel de spanningen als vervormingen kunnen op deze wijze voor elk element (lees op elke locatie in het grondmassief) worden berekend.

Om de meest ongunstige situatie (de maximale grondvervormingen) te beschouwen is voor de kleilaag gedraineerd gedrag verondersteld. De berekeningen zijn uitgevoerd met het HSSmall model waarin rekening wordt gehouden met een niet-lineaire spanning-rekrelatie en onderscheid wordt gemaakt in een stijfheid voor belasten en ontlasten.

### 4.2 Plaxis model

Een overzicht van het gehanteerde Plaxis model is weergegeven in 5.1.2.e



Figuur 4 Plaxis model – fase 5 (plx09)

### 4.3 Fasering

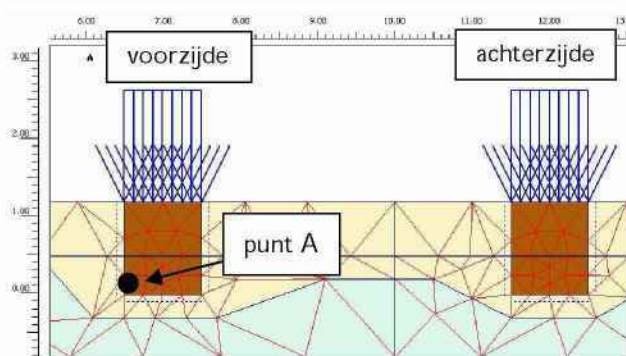
In de beschouwing is uitgegaan van de bouwfaserings zoals weergegeven in [2] en [3]. De volgende fasering is gehanteerd (Tabel 3).

Tabel 3 Fasering Plaxis model

Fase	5.1.2.e Plx09 (AA') / Plx011 (BB')
0 <sup>ii</sup>	• initiële fasen waarin de bestaande situatie wordt gecreëerd;
1	• plaatsen hulpdamwand in gracht (AZ14, voetniveau NAP -6,5m); • plaatsen hulpwand (tot NAP -1,3m) ter plaatse van werf (t.b.v. afstempelen hulpdamwand);
2	• ontgraven tot NAP +0,3m; • plaatsen stempel op NAP +0,5m;
3	• verlagen waterstand in bouwkuip tot NAP -1,3m; • waterstand achter hulpwand NAP -1,3m in ca. 6m verlopend naar NAP +0,58m ter plaatse van werf;
4	• slopen walmuur tot NAP -0,8m;
5	• waterstand in bouwkuip verhogen tot NAP +0,0m, in ca 6m verlopend naar NAP +0,58m ter plaatse van werf; • plaatsen permanente damwand (AZ14, voetniveau NAP -7,0m);
6	• verwijderen stempels; aanvullen grond achter permanente damwand;
7	• verhogen waterstand tot NAP +0,58m;
(7.5)	• <i>als variant is voorafgaand aan het verwijderen van de hulpdamwand de ruimte tussen de hulpdamwand en de permanente damwand opgevuld met zand tot NAP +0,5m;</i>
8 <sup>iii</sup>	• trekken hulpdamwand (verlaging korrelspanning);
9 <sup>iv</sup>	• volumeverlies t.g.v. trekken hulpdamwand;
10	• eindsituatie inclusief bovenbelasting van 5 kPa over 2m naast de permanente damwand;

### 4.4 Resultaten berekening

In Figuur 6 ( $U_y$ ) en Figuur 7 ( $U_x$ ) zijn voor doorsnede AA' de berekende vervormingen, ter plaatse van de onderzijde van de fundering van de werfmuur (punt A, zie Figuur 5), per fase weergegeven.



Figuur 5 Locatie beschouwde vervormingen fundering werfmuur

<sup>ii</sup> In de fasering is rekening gehouden met de historische grondwaterstandsverlaging tot NAP -2,3m [1]

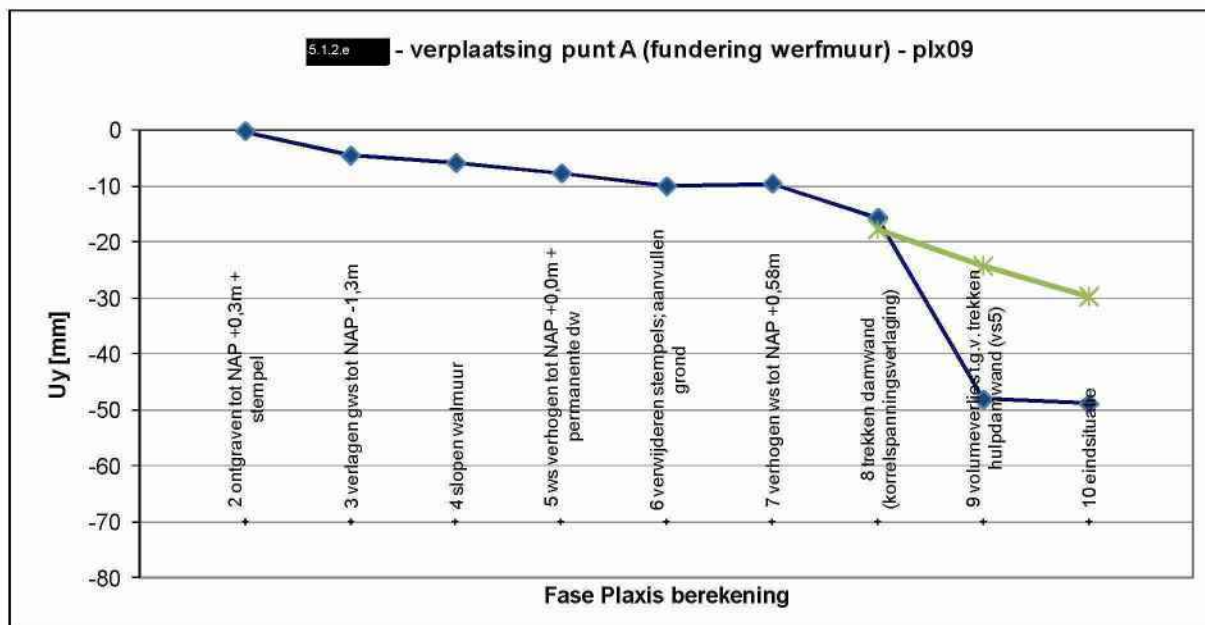
<sup>iii</sup> gemodelleerd door opgelegde verplaatsing aan damwand

<sup>iv</sup> gemodelleerd door 'volumetric strain' aan clusters (met breedte van de damwand) op te leggen

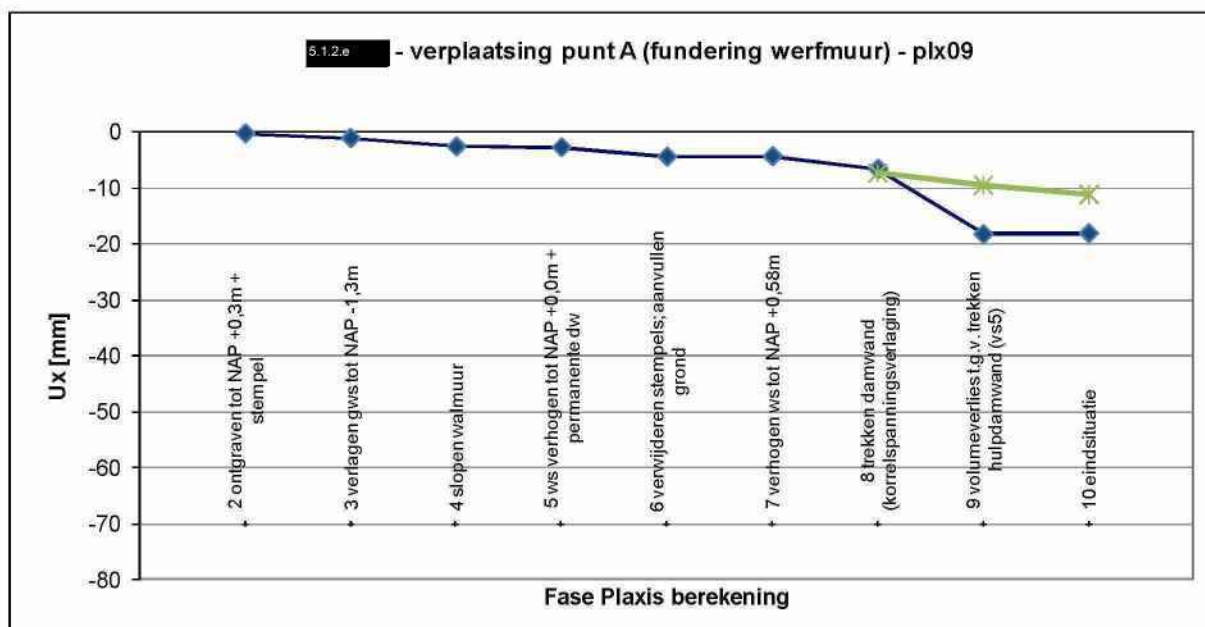


De in de grafieken weergegeven fasen (en fasenummers) komen overeen met Tabel 3. In de grafiek zijn een tweetal lijnen weergegeven. De doorgaande lijn (blauw; ruit) geeft de berekende verplaatsingen zonder aanvulling tussen de damwanden voorafgaand aan het verwijderen van de hulpdamwanden in 5.1.2.e Gracht.

De (vanaf fase 8) gepresenteerde vervormingslijn (groen; ster) betreft de berekende verplaatsingen indien voorafgaand aan het verwijderen van de hulpdamwanden zand wordt aangebracht tussen de damwanden als bovenbelasting (fase 7,5; Tabel 3) welke in fase 10 weer wordt verwijderd.



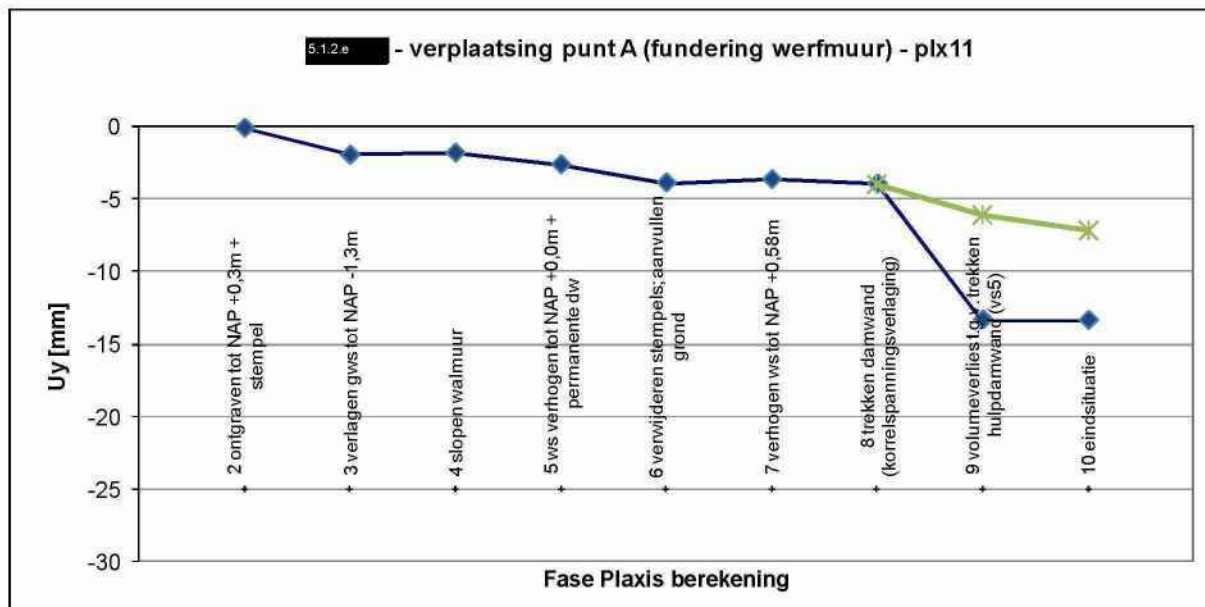
Figuur 6 Berekende verticale verplaatsing werfmuur ( $U_y$ ); drsn AA' (4,0m afstand van walmuur)



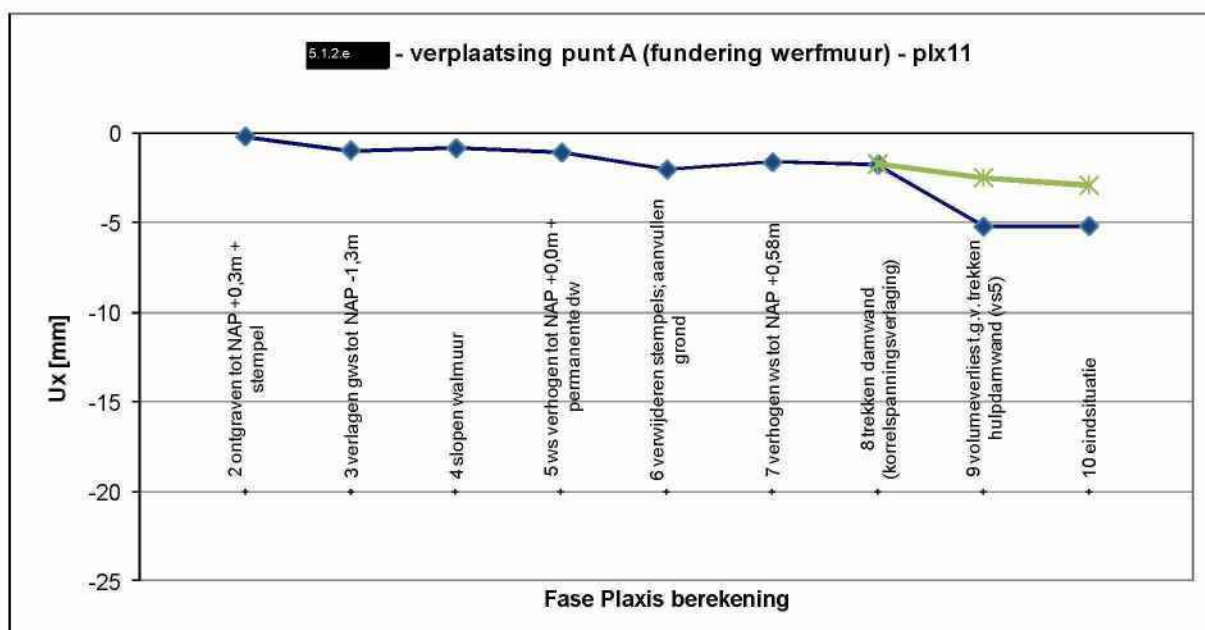
Figuur 7 Berekende horizontale verplaatsing werfmuur ( $U_x$ ); drsn AA' (4,0m afstand van walmuur)



Vergelijkbare grafieken zijn opgesteld voor doorsnede BB' (werfmuur op circa 7,0m van de voorzijde van de walmuur), zie Figuur 8 ( $U_y$ ) en Figuur 9 ( $U_x$ ). Ook hier laat de, vanaf fase 8, gepresenteerde vervormingslijn (groen; ster) de berekende verplaatsingen zien indien voorafgaand aan het verwijderen van de hulpdamwanden zand wordt aangebracht tussen de damwanden (fase 7,5; Tabel 3) welke in fase 10 weer wordt verwijderd.



Figuur 8 Berekende verticale verplaatsing werfmuur ( $U_y$ ); drsn BB' (7,0m afstand van walmuur)



Figuur 9 Berekende horizontale verplaatsing werfmuur ( $U_x$ ); drsn BB' (7,0m afstand van walmuur)

## 4.5 Toetsing van de berekende vervormingen

### 4.5.1 Verschilvervorming en stabiliteit

In Tabel 4 is een samenvatting van de in 5.1.2.e tot en met Figuur 9 gepresenteerde waarden weergegeven. Tevens zijn in deze tabel de berekende verplaatsingen ter plaatse van de achterste funderingsstrook (op 5m afstand) weergegeven.

Uit de berekende verplaatsingen blijkt dat het trekken van de damwanden een grote invloed kan hebben op de verplaatsing van de definitieve damwand en derhalve ook op de achterliggende werfmuren. Het wordt opgemerkt dat de berekende vervormingen tengevolge van het trekken van de hulpdamwand rekenkundig lastig te bepalen omdat dit proces sterk uitvoeringsafhankelijk is. Uit de berekeningen blijkt dat het trekken van de hulpdamwand risicovol kan zijn, maar, zoals opgemerkt, kan bij zorgvuldige uitvoering de resulterende vervorming meevallen.

Tabel 4 Resultaten Plaxis berekening per doorsnede

Doorsnede [-]	$\Delta U_x$ [mm]		$\Delta U_y^v$ [mm]		$\Sigma MSF$ [-]
	voorzijde	achterzijde	voorzijde	achterzijde	
AA' – fase 4 (slopen walmuur)	-3	-1	-6	-2	1.27
AA' – fase 7 (voor verwijderen hulpdamwand)	-4	-1	-9	-3	-
AA' – fase 10 eindsituatie	-18	-1	-51	-3	1.5
AA' – fase 10 aanvullen met zand - eindsituatie	-11	-1	-30	-3	1.5
BB' – fase 4 (slopen walmuur)	-1	0	-2	-1	1.5
BB' – fase 7 (voor verwijderen hulpdamwand)	-1	0	-4	-1	-
BB' – fase 10 eindsituatie	-4	-1	-11	-2	1.7
BB' – fase 10 aanvullen met zand - eindsituatie	-2	-1	-7	-2	1.7

$\Delta U_y$  Verticale verplaatsing ter plaatse van de onderkant van de fundering

$\Delta U_x$  Horizontale verplaatsing ter plaatse van de onderkant van de fundering (- = richting gracht)

$\Sigma MSF$  Stabiliteitsfactor

Naast de berekende verplaatsingen bevat Tabel 4 de waarde van de veiligheidsfactor van de constructie. De veiligheidsfactor heeft betrekking op de macrostabiliteit. Door middel van een stapsgewijze reductie van de sterkteparameters  $\phi'$  (hoek van inwendige wrijving) en  $c$  (cohesie) van de grond, wordt inzicht verkregen in de stabiliteit van de constructie. De reductie wordt doorgezet totdat de constructie komt te bezwijken. De mate waarin de sterkte is gereduceerd tot bezwijken, bepaalt de stabiliteit die de constructie bezit.

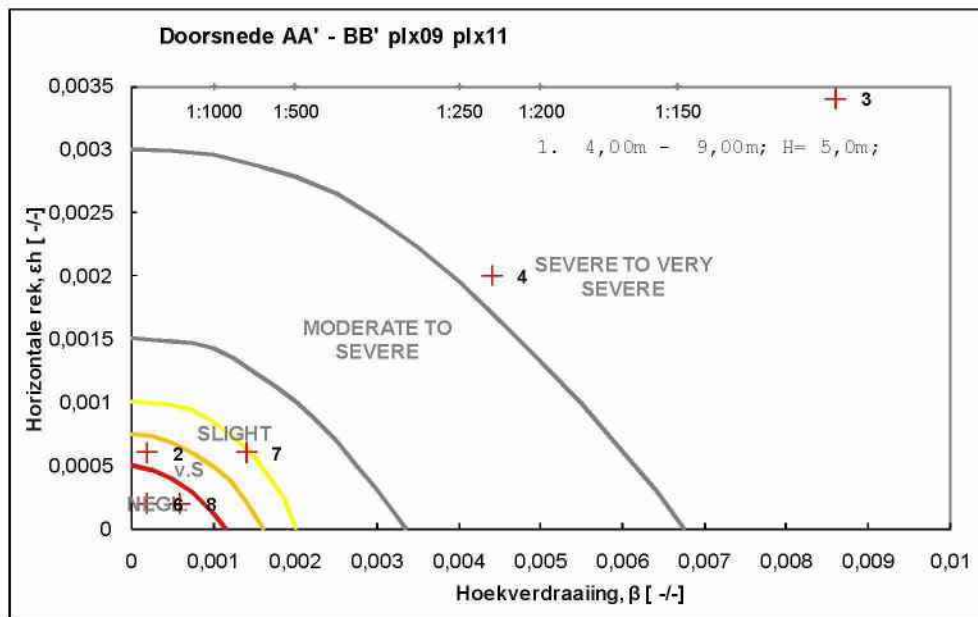
In het bouwbesluit wordt voor de partiële factor voor grondeigenschappen verwezen naar NEN6740. Voor de sterkteparameters  $c'$  (cohesie) en  $\phi'$  (hoek van inwendige wrijving) bedraagt de partiële factor ( $\gamma_m$ ) respectievelijk 1,5 en 1,2. Omdat de ondergrond voornamelijk uit zand bestaat, waarbij de cohesie 0 kN/m<sup>2</sup> bedraagt, wordt de sterkteparameter voor de cohesie feitelijk niet getoetst. Volgens NEN 6740 geldt voor een fundering op staal een partiële factor voor de hoek van inwendige wrijving van 1,15. Voor andere, horizontaal belaste constructies, moet volgens NEN 6740

<sup>v</sup> De verplaatsingen zijn inclusief de berekende verplaatsingen tengevolge van de grondwaterstandsverlaging. Deze bedraagt circa 5mm ter plaatse van de voorste funderingsstrook van doorsnede AA' en circa 2mm ter plaatse van de voorste funderingsstrook van doorsnede BB'. De verwachting is dat de grondwaterstandsverlaging geen grote invloed zal hebben op de verschilverplaatsingen ter plaatse van de werfmuur. Deze zijn dan ook niet meegenomen in de berekende relatieve hoekverdraaiing tussen de funderingsstroken.

een partiële factor van 1,2 worden gehanteerd. Een waarde van de stabiliteitsfactor van 1,25 wordt derhalve voldoende geacht.

#### 4.5.2 Schadeklasse BRE

In Figuur 10 zijn voor de in 5.1.2.e en Tabel 5 weergegeven fasen de resulterende schadeklasse conform BRE grafisch weergegeven op basis van de berekende verschilverplaatsing tussen de voor en achterzijde van de fundering van de werfmuur. Voor de nummering van de verschillende fasen wordt verwezen naar Tabel 5. In deze tabel is tevens de berekende relatieve hoekverdraaiing tengevolge van de verticale verplaatsing per fase en per doorsnede weergegeven.



Figuur 10 Schadeklasse BRE o.b.v. relatieve hoekverdraaiing en horizontale rek (Boscardin)

Uit de berekeningen blijkt dat ter plaatse van doorsnede BB', vanuit het oogpunt van omgevingsbeïnvloeding, gekozen kan worden voor reconstructie van de walmuur met behulp van damwanden.

Ter plaatse van doorsnede AA' heeft vooral het verwijderen van de hulpdamwand grote invloed op de berekende verplaatsingen (zowel verticaal als horizontaal) van de werfmuur. Het wordt derhalve aanbevolen om op de grootste afstand van de werfmuur (doorsnede BB') te starten met de werkzaamheden om zo de daadwerkelijke invloed van het trekken van de hulpdamwanden beter in beeld te krijgen. Op basis van de monitoringsgegevens kan vervolgens een beslissing over de bouwfaserings ter plaatse van de kleinste afstand tot de werfmuur (doorsnede AA') worden genomen. Het risico bestaat echter dat, indien op korte afstand van de werfmuur (circa 4m) voor een reconstructie van de walmuur met damwanden wordt gekozen, uit de metingen volgt dat de hulpdamwand niet verwijderd kan worden en moet worden afgebrand.

Het inbrengen en trekken van de damwand dient onder strikte monitoringsbewaking te worden uitgevoerd.

Tabel 5 Berekende relatieve hoekverdraaiing

Doorsnede [-]	Nr. [Figuur 10]	$\Delta U_v$ (voorzijde – achterzijde) [mm]	relatieve hoek- verdraaiing [1 : .....]	schadeklasse [BRE]
AA' – fase 4 (slopen walmuur)	1	1	-5000	verwaarloosbaar
AA' – fase 7 (voor verwijderen hulpdamwand)	2	-1	5000	zeer licht
AA' – fase 10 eindsituatie	3	-43	116	zeer ernstig (constructief)
AA' – fase 10 aanvullen met zand - eindsituatie	4	-22	227	zeer ernstig (constructief)
BB' – fase 4 (slopen walmuur)	5	1	-5000	verwaarloosbaar
BB' – fase 7 (voor verwijderen hulpdamwand)	6	-1	5000	verwaarloosbaar
BB' – fase 10 eindsituatie	7	-7	714	licht (esthetisch)
BB' – fase 10 aanvullen met zand - eindsituatie	8	-3	1667	verwaarloosbaar

In de berekening is vanuit gegaan dat de buitenmuur van de werf niet constructief is verbonden met de dwarsmuur van de werfkelders. Om de integriteit van de constructie te waarborgen wordt geadviseerd om deze aansluiting ter plaatse te beoordelen en indien nodig maatregelen te nemen.

De verplaatsing van de achterliggende belendende panden zijn rekenkundig niet beschouwd. Mede op basis van de berekende vervormingen ter plaatse van de achterste funderingsstrook van de werfmuur kan geconcludeerd worden dat de verwachte verplaatsingen gering zijn en dat derhalve ook de schadeklasse van de belendende panden rekenkundig verwaarloosbaar gering is.



## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Conclusies

Voor rak 15 westzijde is een risicoanalyse opgesteld van de te verwachten vervormingen van de werfmuur tengevolge van de voorgenomen reconstructie van de walmuur. Er zijn een tweetal doorsneden beschouwd (AA' fundering werfmuur op 4,0m van walmuur; BB' fundering werfmuur op 7,0m van de walmuur).

Bij een afstand van circa 4m tussen de walmuur en de werfmuur (ter plaatse van doorsnede AA') heeft vooral het verwijderen van de hulpdamwand grote invloed op de berekende verplaatsingen van de werfmuur. Het wordt derhalve aanbevolen om op de grootste afstand van de werfmuur (ter plaatse van doorsnede BB') te starten met het inbrengen / trekken van de damwand onder strikte monitoringsbegeleiding om zo de daadwerkelijke invloed van het trekken van de hulpdamwanden beter in beeld te krijgen. Op basis van deze monitoringsgegevens kan vervolgens een beslissing over de bouwfasering op de kleinste afstand (circa 4m) tussen de wal- en werfmuur worden genomen. Als uit de metingen blijkt dat het trekken van de hulpdamwand grote invloed heeft op de gemeten vervormingen kan eventueel overwogen worden om de hulpdamwanden onder het gelijktijdig inbrengen van bentoniet te trekken.

Het risico bestaat echter dat, indien ter plaatse van doorsnede AA' voor een reconstructie met damwanden wordt gekozen, uit de metingen volgt dat de hulpdamwand niet verwijderd kan worden en moet worden afgebrand.

Opgemerkt wordt dat de uitvoeringsrisico's (zie ook paragraaf 5.2) rekenkundig niet kunnen worden beschouwd maar dat deze wel een grote invloed kunnen hebben op de optredende vervormingen en derhalve schaderisico van de belendingen.

### 5.2 Aanbevelingen / additionele risico's

In [2] wordt aangegeven dat bij het inbrengen van de damwand vanuit wordt gegaan dat de houten palen en grondscherp kunnen blijven zitten, maar dat in de praktijk er plaatsen zullen zijn waar ook de funderingsresten van de oude walmuur verwijderd moeten worden. Het wordt opgemerkt dat het verwijderen van bijvoorbeeld de houten palen een groot risico kan vormen voor de achterliggende werfmuur. De ontstane ruimte zal zich vullen met grond wat met vervormingen gepaard zal gaan. Het wordt derhalve sterk aanbevolen om, indien funderingsresten, (geheel) moeten worden verwijderd dit verbuisd uit te voeren en de ontstane ruimte vervolgens te vullen met bijvoorbeeld bentoniet.

De aannemer dient met mogelijke vervormingen bij het inbrengen van de hulpdamwand rekening te houden door de vervormingen van de kluiswanden tijdens het inbrengen van de damwandplanken regelmatig te monitoren en de damwandplanken tijdens het plaatsen zo min mogelijk 'op en neer' te bewegen.

De hulpdamwand wordt gestempeld op een hulpconstructie aan de achterzijde van de walmuur of, als de ruimte dit toelaat, op de ondergrond. Gezien de korte afstand tot de werfmuur wordt het onzorgvuldig inbrengen en/of de keuze voor een constructie die niet voldoende stijfheid bezit als groot risico voor additionele verplaatsing van de werfmuur gezien, welke niet rekenkundig is te kwantificeren. Het onder vrij talud ontgraven en stempelen op de ondergrond wordt om dezelfde reden afgeraden.

Indien op locaties voor een groutpalenwand wordt gekozen moet er rekening mee worden gehouden dat de wand niet helemaal waterdicht kan worden verondersteld. Tengevolge van schaduwwerking door de aanwezige houten fundering zal niet overal een volledige groutkolom kunnen worden gerealiseerd. Om dezelfde reden wordt het aanbevolen om bij het ontwerp van de groutpalenwand hiermee rekening te houden door de rekenkundige sterkte van de groutpalenwand in het ontwerp niet volledig te benutten.

Een risico bij het maken van een groutpalenwand ter plaatse van de bestaande walmuurconstructie is dat de buizen voor de retourspoeling verstopt kunnen raken door meegevoerd hout en puin uit de ondergrond. Indien de retourleiding verstopt raakt (drukopbouw) moet onmiddellijk gestopt worden met het maken van de paal en moet de verstopping worden verholpen.

### 5.3 Monitoring

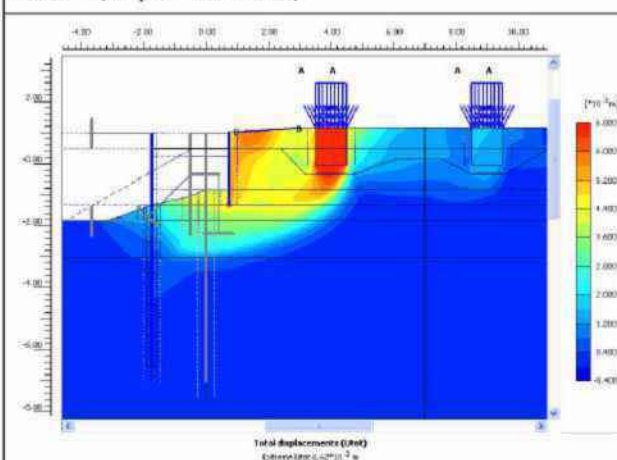
In een apart monitoringsplan zullen de monitoringswerkzaamheden worden besproken. In de plan worden de meetmomenten, de locatie van de meetinstrumenten en de te hanteren alarm- en grenswaarden nader gespecificeerd.

Vooralsnog wordt uitgegaan van het uitvoeren van hoogtemetingen van de werfmuur, het meten van bestaande scheuren met behulp van scheurimeters, en het monitoren van het grouting proces.

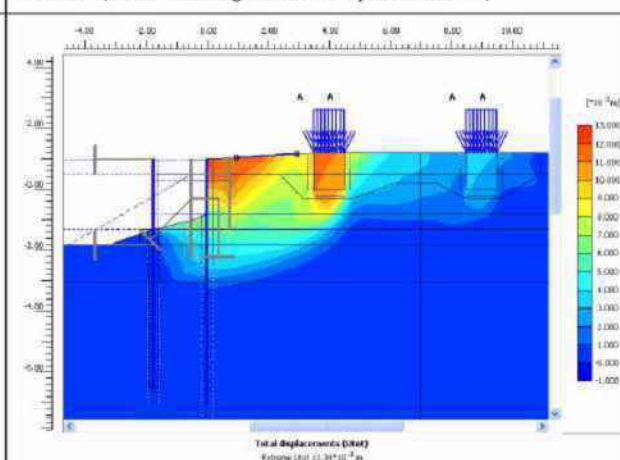
## Bijlage I Resultaten Plaxis berekening

### Doorsnede AA' ('total displacements')

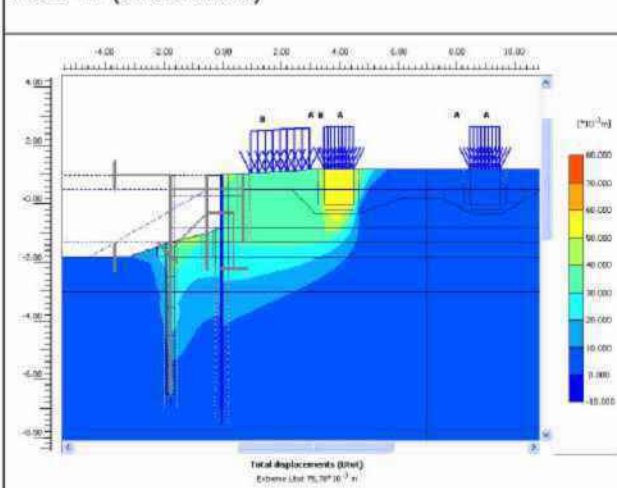
Fase 4 (slopen walmuur)



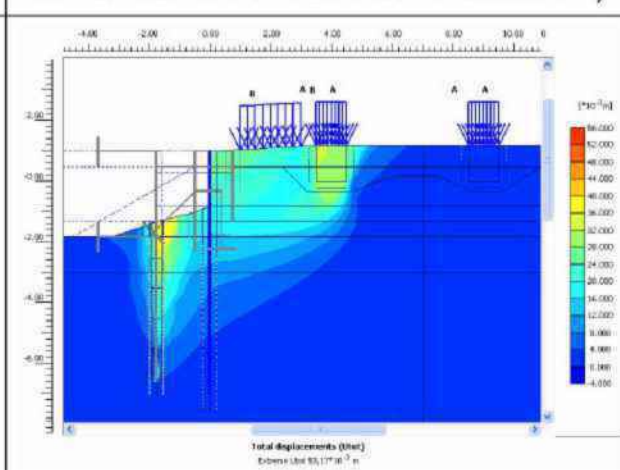
Fase 7 (voor verwijderen hulpdamwand)



Fase 10 (eindsituatie)

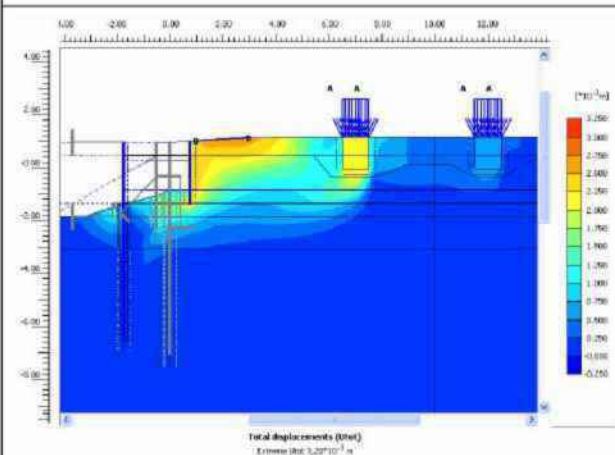


Fase 10 (eindsituatie; voorafgaand aan trekken damwand aanvullen met zand tussen damwanden)

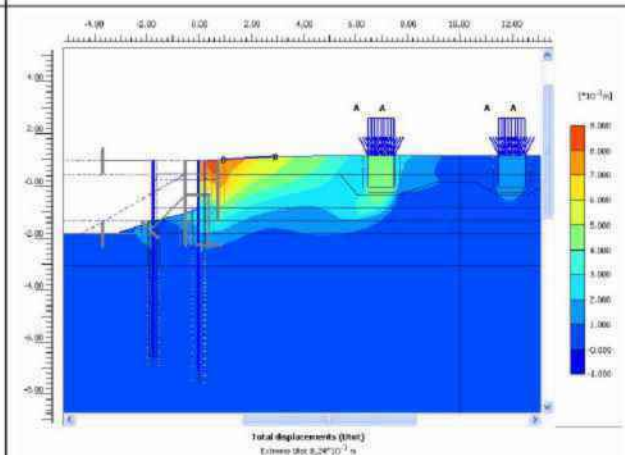


## Doorsnede BB' ('total displacements')

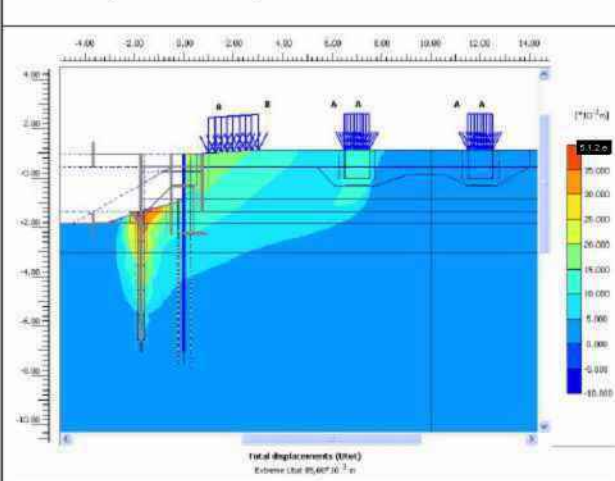
Fase 4 (slopen walmuur)



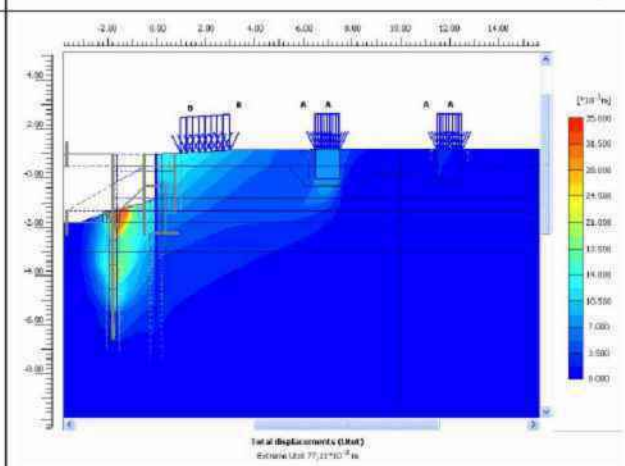
Fase 7 (voor verwijderen hulpdamwand)



Fase 10 (eindsituatie)



Fase 10 (eindsituatie; voorafgaand aan trekken damwand aanvullen met zand tussen damwanden)





***Bijlage 03***

***Sondeerrapport Oudegracht***

***Nr.: WN-19396***

***Datum: 16-10-2009***

***Bijlage behorende bij bestek 40 SW.11***

SONDEERRAPPORT T.B.V.

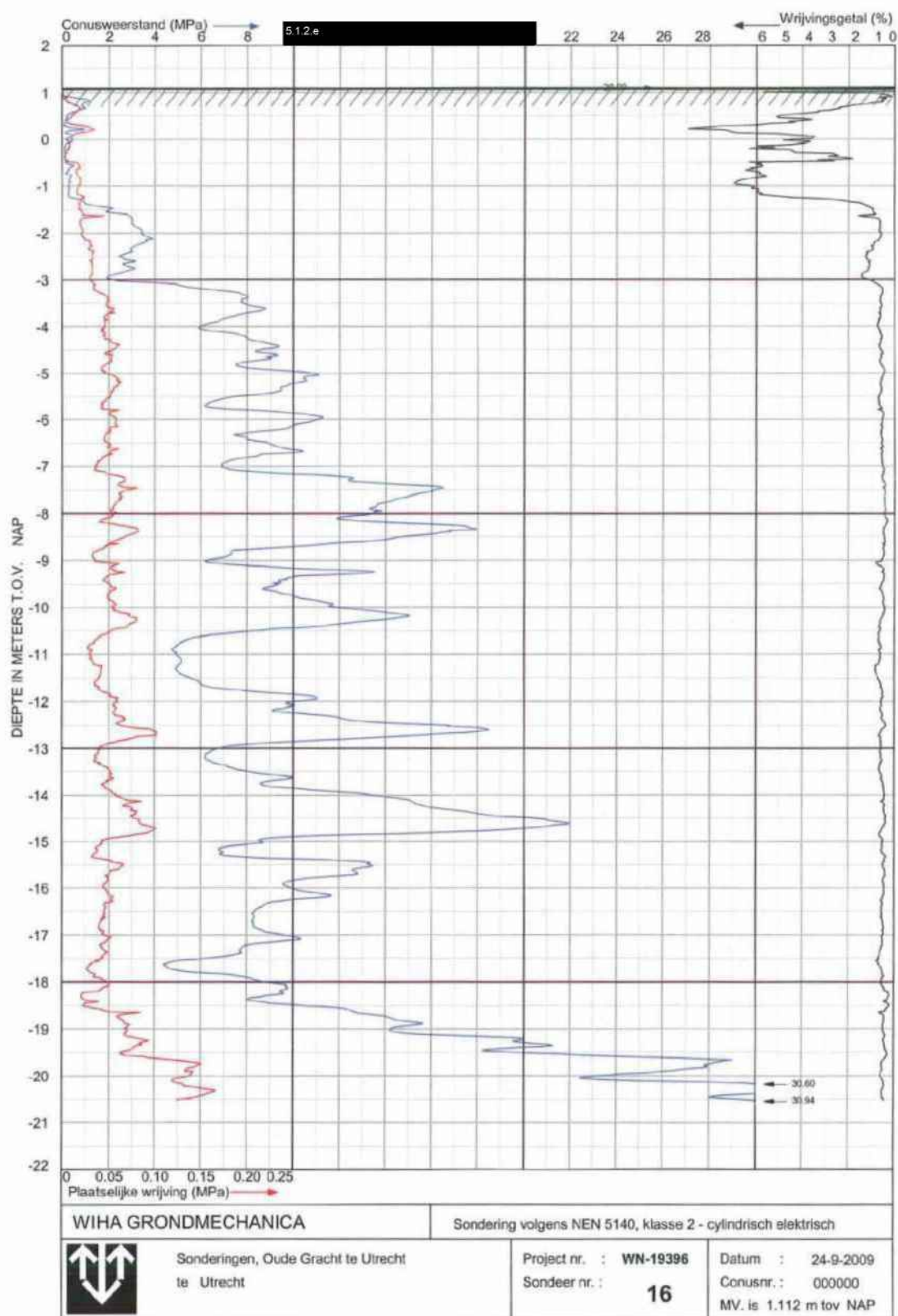
Sonderingen, Oude Gracht  
te Utrecht.

RAPPORT NR : WN-19396

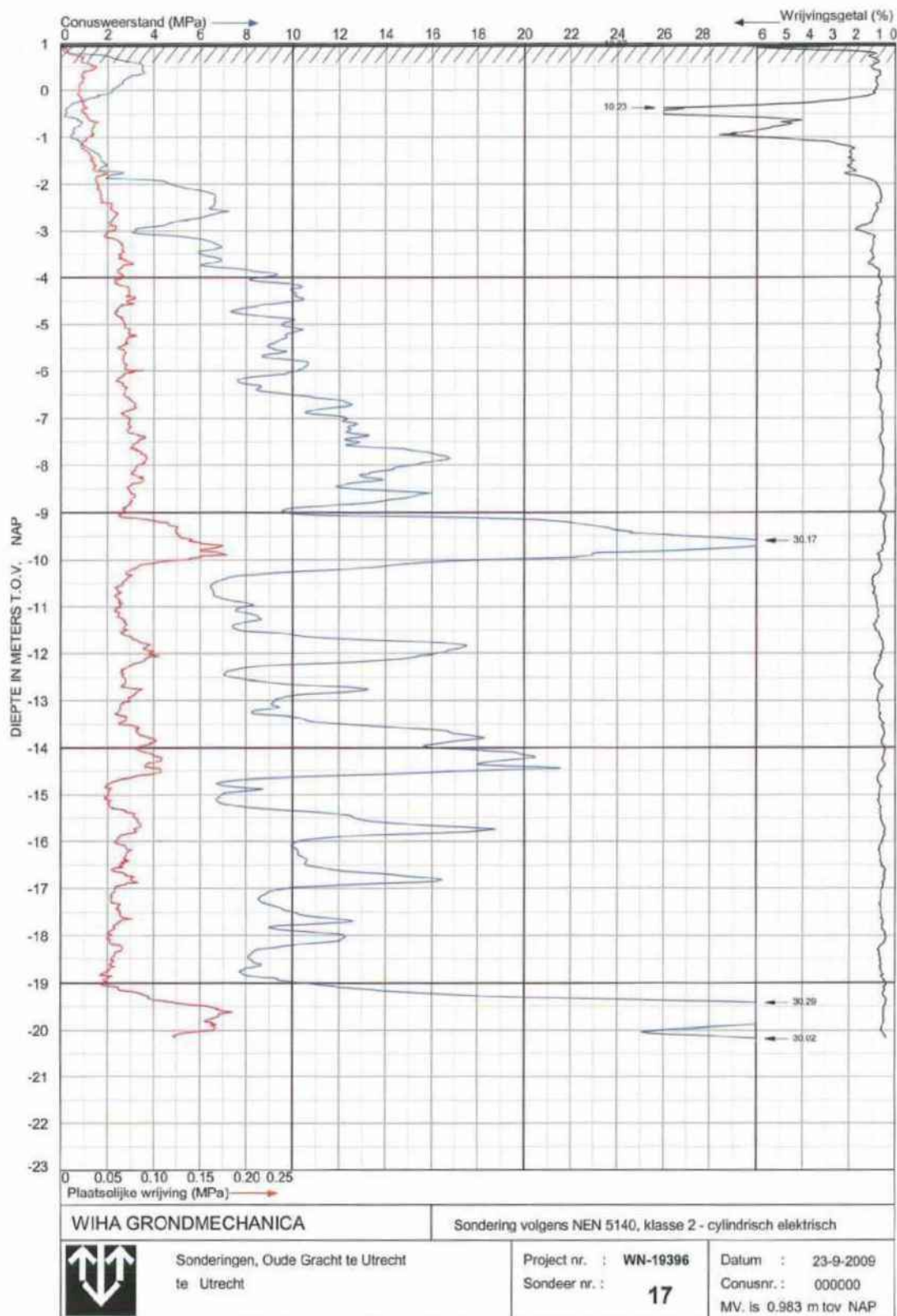
Gouda, 16 oktober 2009

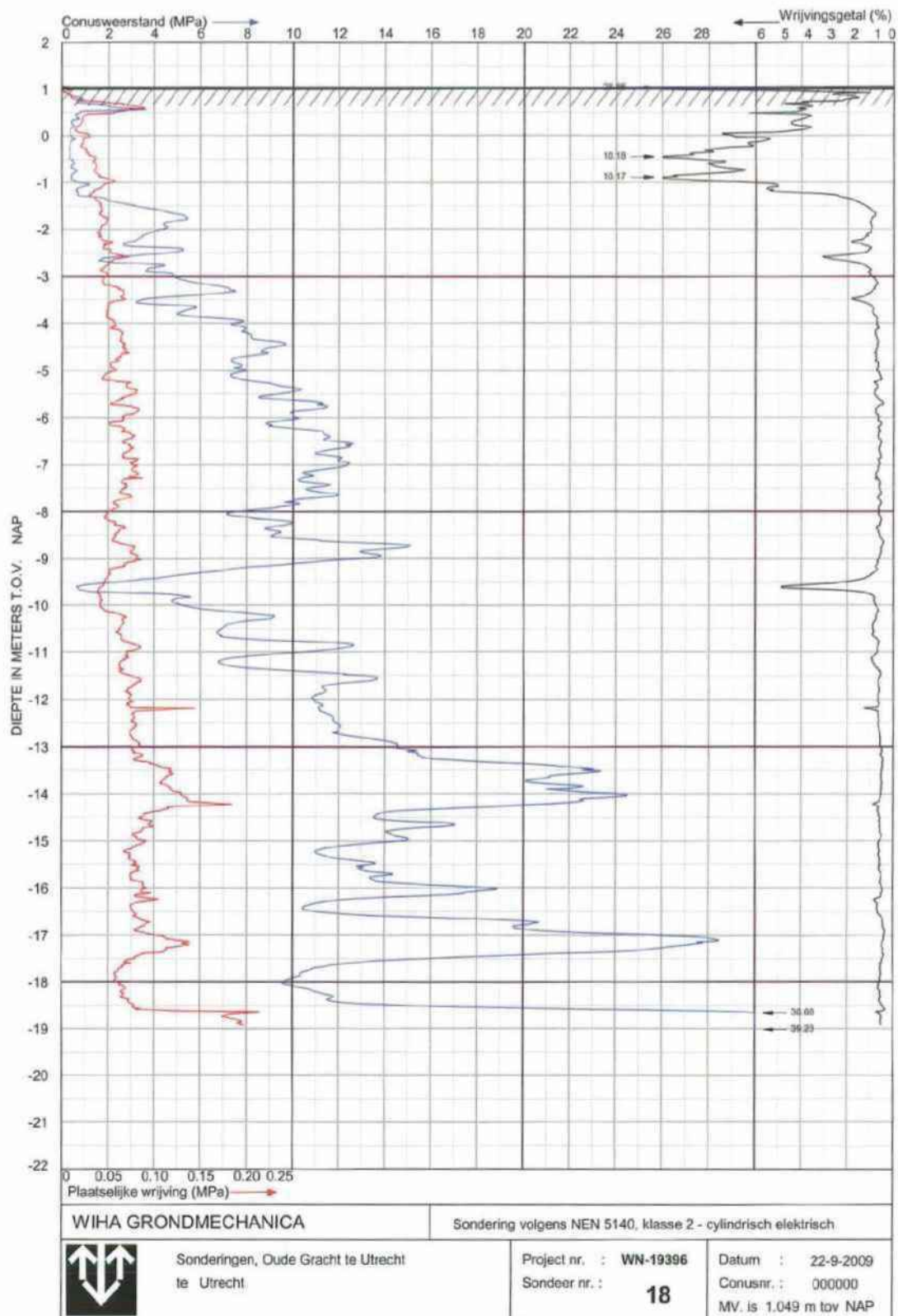
Opgesteld door	5.1.2E	Paraaf: 5.1.2E
Gezien	5.1.2E 5.1.2E	Paraaf:
Status	Definitief	

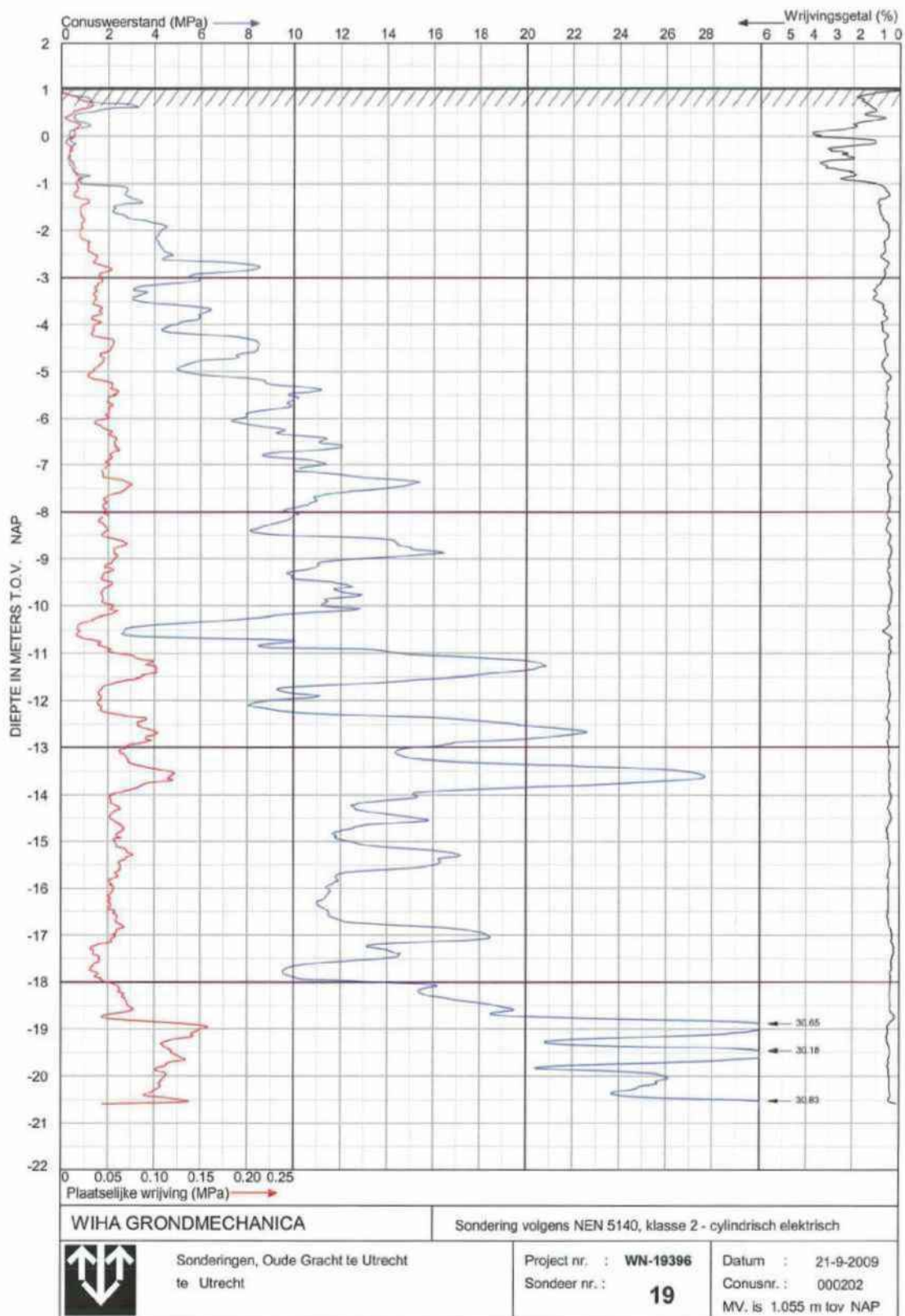


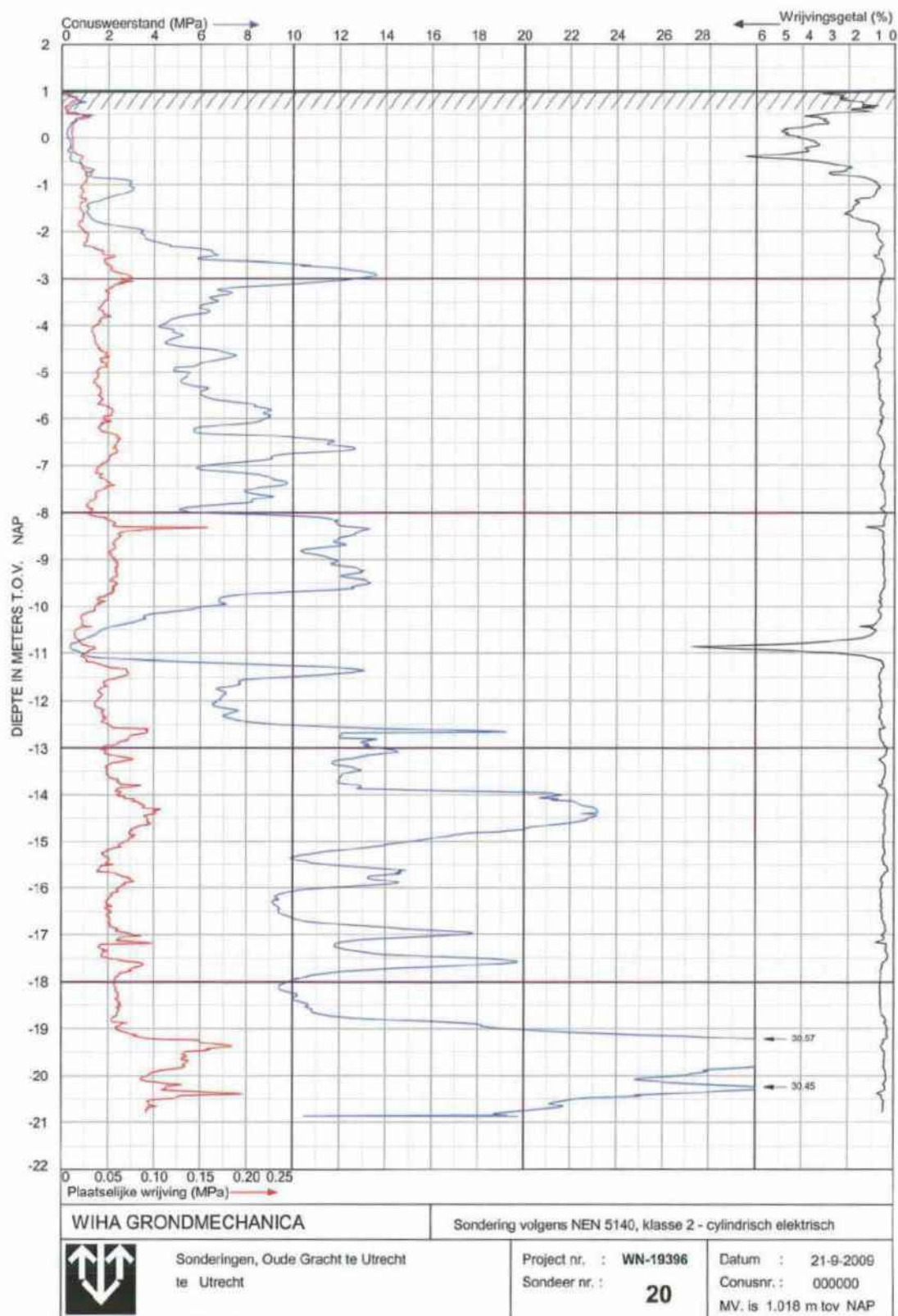




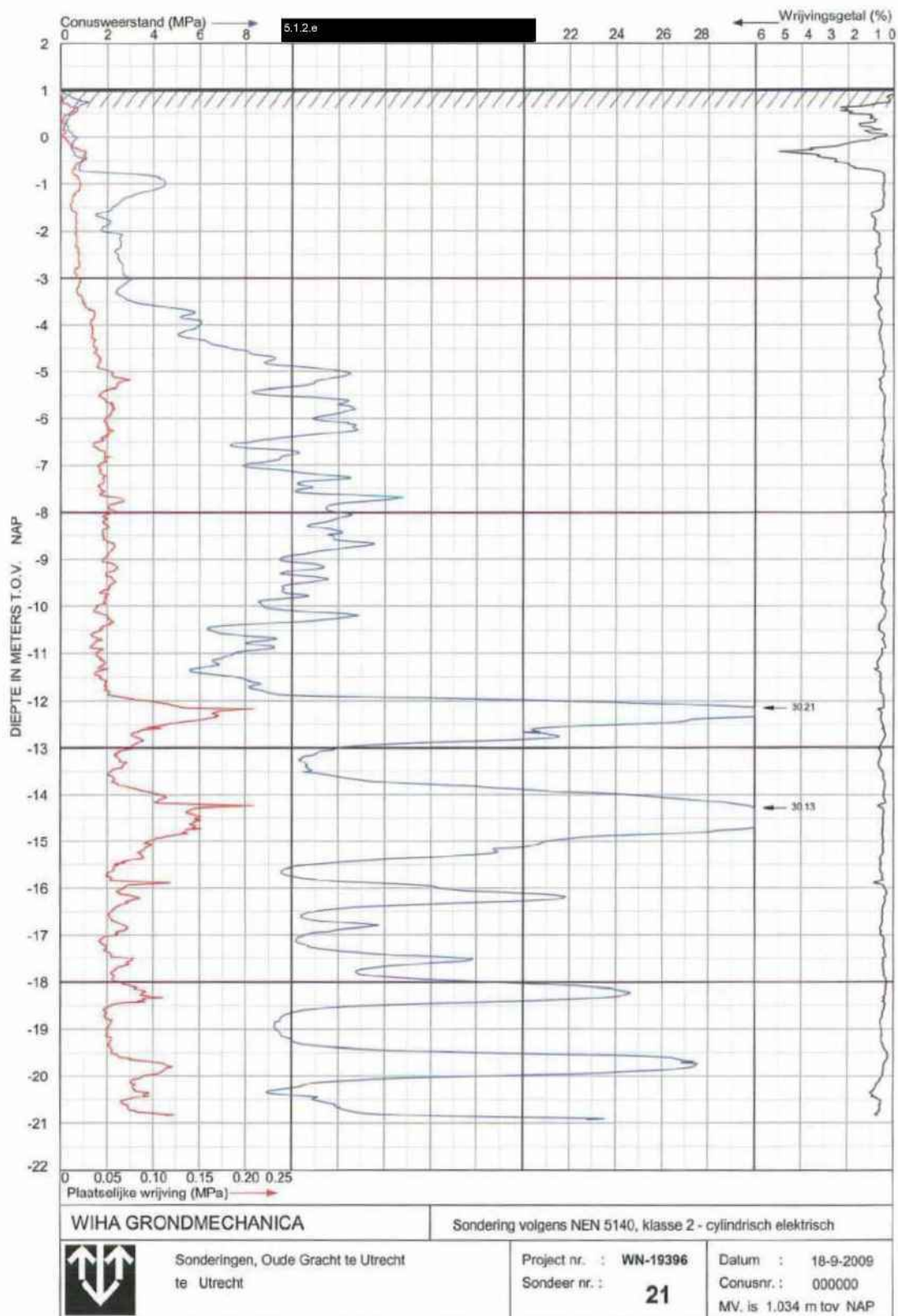


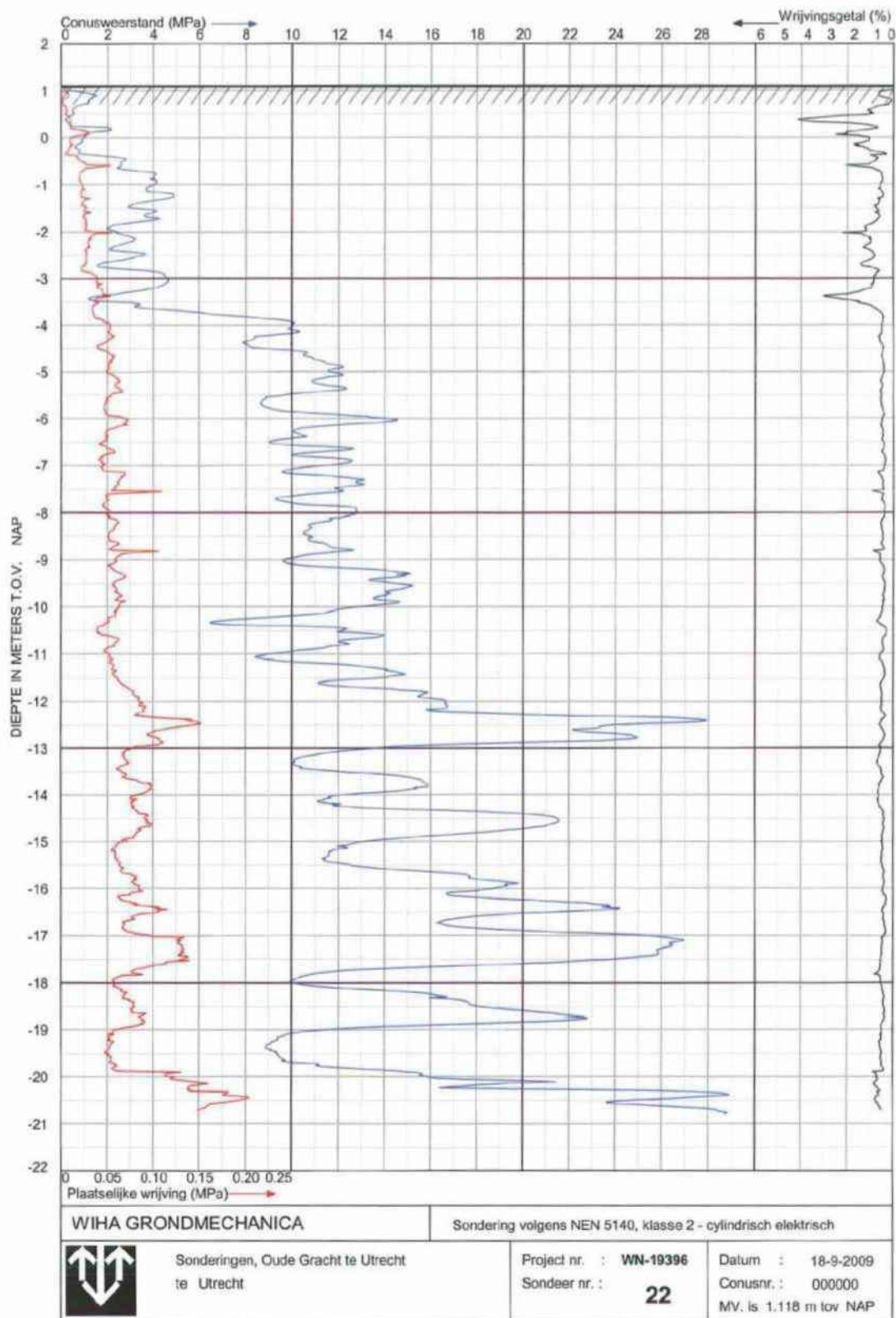


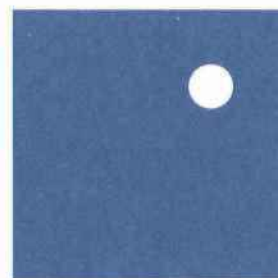












Adres: Gemeente Utrecht, Stadswerken,  
IBU Stadsingenieurs  
Postbus 8375

5.1.2.e

Tel

Fax

Projectnummer 12172

Documentnummer RA12172d      Versie 3

Opgesteld

5.1.2E

5.1.2E

5.1.2E

Gecontroleerd

5.1.2E

Vrijgave

5.1.2E

Datum 09-09-2013

### Rapport [RA12172d3]

Risicoanalyse renovatie walmuren

Rak 12 t/m 5.1.2.e

© 2013 CRUX Engineering BV

Niets uit dit drukwerk mag worden vervoelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt, in enige vorm op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, microfilm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van CRUX Engineering BV, noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

Documentlocatie:

P:\12172 IBU fase 2 rak 15-12\docs\RA12172d3 IBU Risicoanalyse walmuren Rak 12-15\_def v2.docm

# Inhoudsopgave

1	INLEIDING .....	4
1.1	Algemeen .....	4
1.2	Leeswijzer .....	5
2	UITGANGSPUNTEN .....	6
2.1	Documenten .....	6
2.2	Programmatuur .....	6
2.3	Type walmuren en principe oplossing .....	7
2.4	Principe oplossing .....	8
2.5	Grondopbouw .....	9
2.6	Damwandprofiel.....	9
2.7	Beschouwde locaties en varianten.....	10
3	INVLOEDSBRONNEN .....	13
3.1	Inleiding.....	13
3.2	Plaatsen hulpdamwand.....	13
3.3	Ontgraving ten behoeve van slopen walmuur.....	13
3.4	Plaatsen permanente damwand.....	13
3.5	Trekken hulpdamwand.....	13
3.6	Verlagen grondwaterstand.....	14
3.7	Trekken achterste palenrij bestaande walmuur .....	15
4	AANPAK OMGEVINGSBEÏNVLOEDING.....	16
4.1	Inleiding.....	16
4.2	Beschouwde invloedsbronnen .....	16
4.3	Doel en methode van de schadevoorspelling .....	16
4.3.1	Doel van de schadepredicties.....	16
4.3.2	Methode der grensrekken.....	16
4.4	Doel monitoring tijdens de uitvoering.....	21
5	BEREKENDE GRONDVERVORMINGEN .....	22
5.1	Algemeen .....	22
5.2	Plaxis model.....	22
5.3	Resultaten berekening.....	24
5.4	Riolering .....	25
5.5	Toetsing van de berekende vervormingen .....	26
6	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN .....	29
6.1	Conclusies.....	29
6.2	Aanbevelingen / additionele risico's.....	29
6.2.1	Trekken achterste palenrij bestaande walmuur.....	29
6.2.2	Hulpdamwand / hulpwand werf.....	30
6.2.3	Riolering .....	30
6.3	Monitoring .....	30



## Lijst van Figuren

Figuur 1 Globale locatie werkzaamheden .....	4
Figuur 2 Bestaande situatie; typen walmuur [1].....	7
Figuur 3 Principe oplossing "Herstel lage walmuren" [1].....	7
Figuur 4 Principe doorsnede huidige situatie.....	8
Figuur 5 Foto's aanleg riool in de jaren '80.....	8
Figuur 6 Walmuur type 1 'laag' en type 2 'hoog' in Plaxis model.....	10
Figuur 7 Locatie beschouwde doorsneden .....	11
Figuur 8 Tijd-zettingslijn op NAP +0,0m (= funderingsniveau) .....	15
Figuur 9 Schematisering methode der grensrekken voor verticale verschilzettingen.....	17
Figuur 10 Complete tabel met schade klassen.....	20
Figuur 11 Referentieoplossing.....	22
Figuur 12 Plaxis model met riolering.....	26
Figuur 13 Hulpwand ter plaatse van werf.....	28

## Lijst van Tabellen

Tabel 1 5.1.2.e Gehanteerde bodemopbouw en grondparameters .....	9
Tabel 2 5.1.2.e – Twijnstraat a/d Werf – gehanteerde bodemopbouw en grondparameters .....	9
Tabel 3 Beschouwde varianten, per doorsnede, van reconstructie walmuur .....	10
Tabel 4 schade classificatiesysteem conform BRE .....	18
Tabel 5 Fasering Plaxis model - referentieoplossing.....	23
Tabel 6 Resultaten Plaxis berekening – verplaatsing nieuwe walmuur (excl. installatie effecten) .....	24
Tabel 7 Resultaten Plaxis berekening – verplaatsing funderingsstrook belending (excl. installatie effecten).....	24
Tabel 8 Resultaten Plaxis berekening – invloedsgebied .....	25
Tabel 9 Resultaten schadepredictie .....	27

## Lijst van Bijlagen

Bijlage I Selectie grondonderzoek [6][7]
Bijlage II Gehanteerde geometrie
Bijlage III Fasering Plaxis – referentie oplossing – walmuur type 2
Bijlage IV Ontgraving Twijnstraat a/d Werf
Bijlage V Reductie t.g.v. scheve buiging
Bijlage VI Type pand Twijnstraat a/d werf [12]
Bijlage VII D-Settlement berekening GWS verlaging
Bijlage VIII Schadepredictie
Bijlage IX Voorbeeldberekening Methode der Rekken – doorsnede 2 5.1.2.e
Bijlage X Plaxis Report – doorsnede 2 5.1.2.e

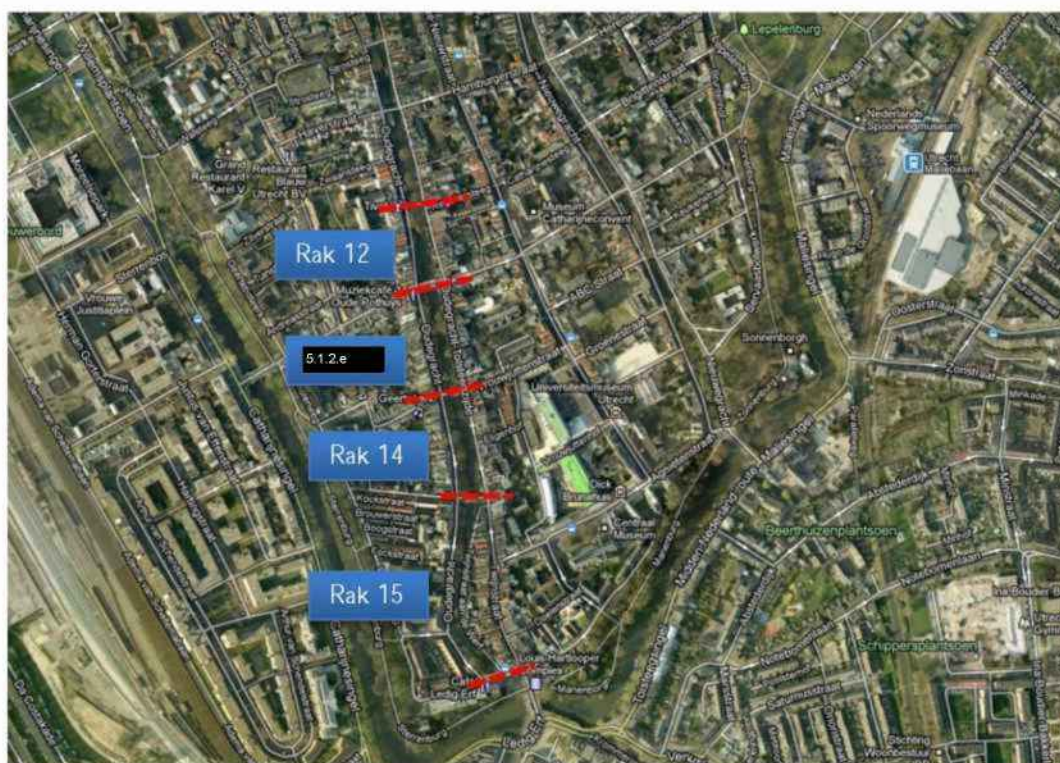
# 1 Inleiding

## 1.1 Algemeen

5.1.2.e BV, hierna CRUX, is in opdracht van IBU Stadsingenieurs een analyse van de omgevingsbeïnvloeding uitgevoerd van de werkzaamheden ten behoeve van de reconstructie van de walmuren ter plaatse van 5.1.2.e /m 5.1.2.e (oost- en westzijde) in de Oudegracht te Utrecht. In voorliggend rapport is buiten beschouwing gelaten de renovatie van de walmuren ter hoogte van Brouwerij De Boog ter plaatse van 5.1.2.e. Hiervoor wordt verwezen naar CRUX rapport RA13193a4.

Een analyse van de omgevingsbeïnvloeding wordt uitgevoerd om in het ontwerpstadium met de gevolgen van bouwwerkzaamheden in binnenstedelijke omgeving rekening te kunnen houden. Het doel hiervan is om het ontwerp, de keuzes voor de bouwmethodes en mogelijke preventieve mitigerende maatregelen zodanig te optimaliseren, dat de kans op schade rekenkundig beperkt blijft tot aanvaardbare minimale (esthetische) schade aan de bestaande constructies. Op basis van de analyse kunnen alarm- en grenswaarden voor schade veroorzakende bronnen (trillingen, vervormingen etc.) worden bepaald. Deze waarden worden opgenomen in een monitoringsplan.

De analyse is uitgevoerd voor de belendende op staal gefundeerde werfmuren en panden. Voor de risicoanalyse zijn een drietal maatgevende doorsneden beschouwd.



Figuur 1 Globale locatie werkzaamheden<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ondergrond © Google and third-party suppliers

## 1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de uitgangspunten behandeld. Hoofdstuk 3 bespreekt de verschillende invloedsbronnen. Hoofdstuk 4 gaat in op de gehanteerde aanpak voor de omgevingsbeïnvloeding. Hoofdstuk 5 gaat in op de berekende vervormingen van de belendingen. In hoofdstuk 6 worden ten slotte de conclusies uit de vorige hoofdstukken samengevat en wordt een aantal aanbevelingen gedaan.



## 2 Uitgangspunten

### 2.1 Documenten

De volgende documenten zijn gehanteerd bij het opstellen van dit rapport:

- [1] IBU Stadsingenieurs; *Ontwerpnootie Herstel lage walmuren*; kenmerk; 402.10390 versie 2.0; d.d. 20 april 2011;
- [2] IBU Stadsingenieurs; e-mail *RE: enkele vragen m.b.t. berekening rak 12-15 (12172)*; d.d. 21 september 2012;
- [3] CRUX Engineering BV; Rapport *Herstel lage walmuren, Risico inventarisatie* 5.1.2.e kenmerk RA1217a2; d.d. 3 september 2012;
- [4] CRUX Engineering BV; Rapport *Risicoanalyse restauratie kluismuren RAK 6 en RAK 7 te Utrecht*; kenmerk RA10226a2; d.d. 15 september 2010;
- [5] CRUX Engineering BV; Rapport *Risicoanalyse restauratie kluismuren RAK* 5.1.2.e kenmerk RA10226c1; d.d. 6 oktober 2010;
- [6] Wiertsema & Partners; Rapport *Resultaten grondonderzoek ten behoeve van een reconstructie aan de walmuren langs* 5.1.2.e *Gracht te Utrecht*; kenmerk VN-55339-1; d.d. 25 april 2012;
- [7] Wiertsema & Partners; Rapport *Resultaten geotechnisch onderzoek, reconstructie walmuren langs* 5.1.2.e *Gracht te Utrecht*; kenmerk VN-55339-2; d.d. 12 juni 2012;
- [8] NIPA milieutechniek b.v.; *Boorstaten rak 12-15*; Projectcode 11634/11696/11636; d.d. 26 april 2010, 15 maart 2010, 9 maart 2010;
- [9] Dienst openbare werken; tekening *Doorsneden en details dwarsprofielen van Maartensbrug-Bijlhouwerbrug*; tekeningnummer 1-2/3 Z 14.312-2; d.d. april 1985;
- [10] Dienst openbare werken; tekening *Situatie tussen Smebrug en Bijlhouwerbrug Oostzijde*; tekeningnummer 1-3 Z 14.311-2; d.d. april 1985;
- [11] Dienst openbare werken; tekening *Situatie tussen Smebrug en Bijlhouwerbrug Westzijde*; tekeningnummer 1-2-Z 14.311-3; d.d. 21 december 1984;
- [12] IBU Stadsingenieurs; *Funderingsonderzoek rak 12 tm 15* (5.1.2.E); per mail d.d. 15 juni 2012;
- [13] CRUX Engineering BV; notitie *Verslag bespreking IBU – CRUX* d.d. 21 februari 2012; kenmerk NT12166a1; d.d. 22 februari 2012;
- [14] IBU Stadsingenieurs; rapport *Walmuren* 5.1.2.e 13, 14; kenmerk 402.10395 BER.040-001; d.d. 6 november 2012;
- [15] van der Stoel; proefschrift *Grouting for Pile Improvement*, ISBN 90-407-2223-4, d.d. 2001;
- [16] IBU Stadsingenieurs; e-mail *RE: Funderingsherstel panden langs walmuren rak 12 t/m 15 (12172)*; d.d. 5 december 2012;
- [17] IBU Stadsingenieurs *Logboek Meetveld* 5.1.2.e projectnummer 402.10390 versie 0.2 d.d. 24-04-2013;
- [18] IBU Stadsingenieurs *Walmuren* 5.1.2.e *Twijnstraat aan* 5.1.2.e *Bestek*; projectnummer 402.10395 versie 0 d.d. 23-07-2013.

CRUX staat niet in voor de juistheid en/of volledigheid van de door derden verstrekte informatie en gegevens.

### 2.2 Programmatuur

De berekeningen zijn uitgevoerd met het eindige-elementenprogramma Plaxis 2011.02 2D.

Documentnummer: RA12172d3  
Project: Risicoanalyse renovatie walmuren  
5.1.2.e m 5.1.2.e

Projectnummer: 12172  
Afdrukdatum: 9-9-2013  
Pagina: 6



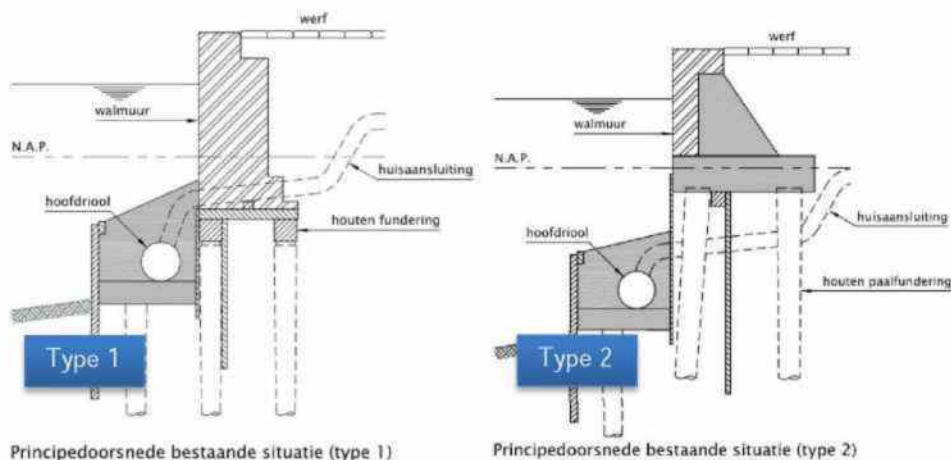


## 2.3 Type walmuren en principe oplossing

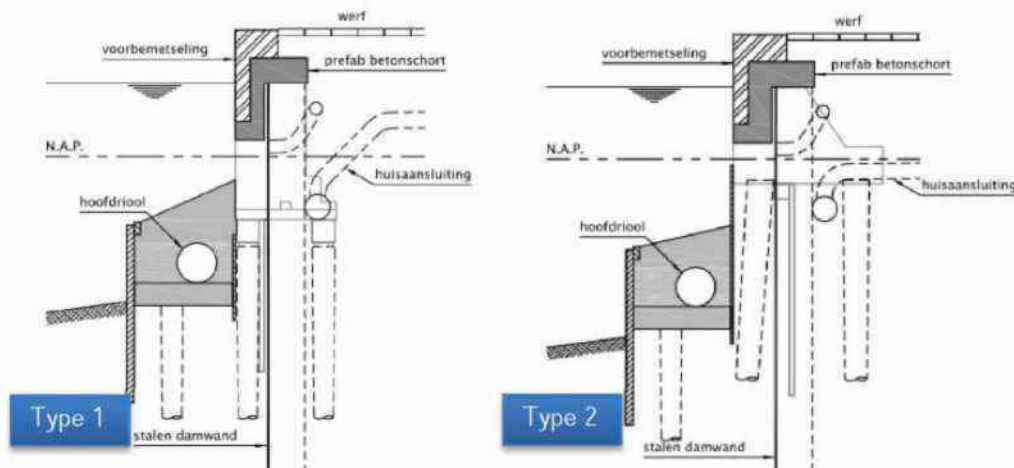
Ter plaatse van 5.12.e m 15 worden een tweetal verschillende walmuren aangetroffen, zie Figuur 2. Type 1 dateert uit het einde van de 19<sup>e</sup> begin van de 20<sup>e</sup> eeuw en bestaat uit een gewichtsconstructie van metselwerk op een houten kesp en funderingspalen.

Type 2 dateert van na de Tweede Wereldoorlog. De walmuur bestaat uit gewapend beton gefundeerd op houten palen, afgewerkt met metselwerk. Zoals ook uit de tekeningen blijkt, is de aanlegdiepte van dit type walmuur circa 0,5m hoger dan type 1 [1].

In Figuur 3 is de beschouwde principe oplossing (referentieontwerp) voor het herstel van de lage walmuren weergegeven. De bestaande (op houten palen gefundeerde) walmuur zal worden vervangen door een stalen damwand waarop, met behulp van een betonschort, het metselwerk zal worden aangebracht.



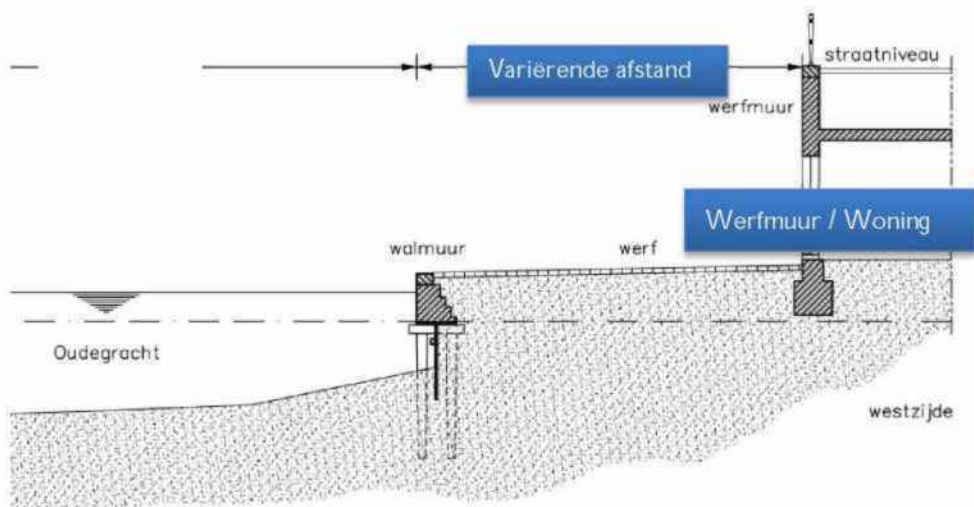
Figuur 2 Bestaande situatie; typen walmuur [1]



Figuur 3 Principe oplossing "Herstel lage walmuren" [1]

In Figuur 4 is een principe doorsnede van de huidige situatie weergegeven. Voor de omgevingsbeïnvloeding is voornamelijk de afstand tussen de walmuur en de dichtstbijzijnde belending (werfmuur / woning) en de funderingswijze en funderingsbelasting van de belending van belang.

In de jaren '80 van de vorige eeuw is de riolering in de gracht aangebracht. In Figuur 5 zijn een tweetal foto's opgenomen van de uitgevoerde werkzaamheden. Uit deze foto's blijkt tevens de, op sommige locaties, geringe afstand tussen de walmuur en de belendingen.



Figuur 4 Principe doorsnede huidige situatie



Figuur 5 Foto's aanleg riool in de jaren '80

## 2.4 Principe oplossing

Zoals gezegd wordt in de principe oplossing de grondkerende functie en het verticaal draagvermogen van de walmuur verzorgd door een stalen damwand.

Globaal wordt voor de principe oplossing de volgende werkvolgorde aangehouden:

- drukken van hulpdamwand in gracht;
- slopen bestaande walmuur tot aan de houten paalfundering (droog);
- drukken van definitieve damwand tussen de bestaande houten paalfundering;
- aanbrengen betonschort en aanbrengen metselwerk;
- statisch trekken hulpdamwand / afbranden hulpdamwand.



In tegenstelling tot CRUX rapport RA12172d2 is in de voorliggende rapportage de variant funderingsverbetering onder het belendende pand komen te vervallen daar bij een funderingsverbetering dit onder het gehele pand dient te worden uitgevoerd, hetgeen niet wenselijk is.

## 2.5 Grondopbouw

De grondparameters zijn via correlaties vastgesteld aan de hand van de conusweerstand uit de sonderingen en tabel 2.b uit NEN 9997-1+C1:2012.

De gehanteerde parameters zijn weergegeven in 5.1.2.e en Tabel 2.

Tabel 1 5.1.2.e Gehanteerde bodemopbouw en grondparameters

Naam	bk laag m NAP	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	5.1.2.e [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [graden]	$E'_{50;ref}$ MPa	$E'_{oed;ref}$ MPa	$E'_{ur;ref}$ MPa
01 Zand	1,0	17	19	0,0	30,0	22	22	87
02 Klei	0,6	16	16	1,0	22,5	6	3	30
03 Klei siltig	-0,2	18	18	0,0	27,5	10	5	50
04 Zand los	-2,3	17	19	0,0	30,0	20	20	80
05 Zand matig	-3,5	18	20	0,0	32,5	40	40	160

Tabel 2 5.1.2.e – Twijnstraat a/d Werf – gehanteerde bodemopbouw en grondparameters

Naam	bk laag m NAP	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	5.1.2.e [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [graden]	$E'_{50;ref}$ MPa	$E'_{oed;ref}$ MPa	$E'_{ur;ref}$ MPa
01 Zand	1,0	17	19	0,0	30,0	22	22	87
02 Klei	-0,2	16	16	1,0	22,5	6	3	30
03 Zand kleilig	-0,8	18	20	0,0	27,5	20	20	90
04 Zand los	-3,0	17	19	0,0	30,0	20	20	80
05 Zand matig	-3,5	18	20	0,0	32,5	40	40	160

## 2.6 Damwandprofiel

Voor de damwanden is uitgegaan van Larssen 22 damwandprofielen. Hierbij is rekening gehouden met het optreden van scheve buiging (reductie traagheids- en weerstandsmoment), zie Bijlage V.

Ter plaatse van de walmuren 5.1.2.e Twijnstraat aan 5.1.2.e worden Larssen 22 10/10 en Larssen 23 toegepast [18]. De opdrachtgever heeft hiervoor gekozen om de horizontale vervorming van de nieuwe walmuur verder te beperken en hiermee het risico op schade aan de belendingen te minimaliseren.

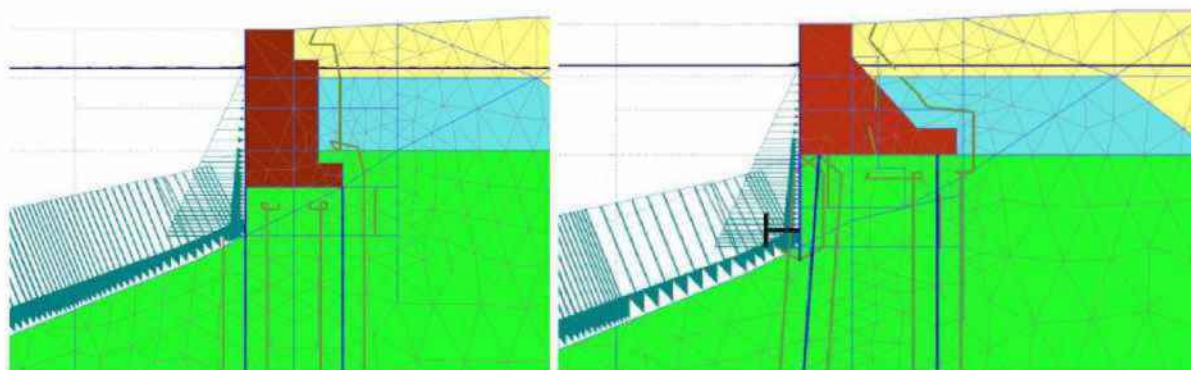
## 2.7 Beschouwde locaties en varianten

In Figuur 7 zijn de locaties van de beschouwde doorsneden weergegeven. De volgende varianten zijn per doorsnede beschouwd:

Tabel 3 Beschouwde varianten, per doorsnede, van reconstructie walmuur

doorsnede	Variant*	walmuur	werfmuur/woning
Drsn 1 – werfmuur op 3,5m afstand	1-hoog 1-laag	referentieoplossing	
Drsn 2 – 5.12.e	1-hoog	referentieoplossing	hulpwand tot NAP -1,3m ter plaatse van werf
Drsn 3 – 'Brouwerij'	1-hoog	zie CRUX rapport RA13193a4	
Drsn 4 – Twijnstraat a/d werf	1-laag	referentieoplossing	funderingsbelasting 85 kN/m' (UGT) op 2,5m van voorzijde walmuur
	3-laag	referentieoplossing	funderingsbelasting 70 kN/m' (UGT) op 3,0m van voorzijde walmuur

\*hoog/laag heeft betrekking op het aangetroffen type walmuur. Waarbij 'laag' betekent dat er ontgraven moet worden tot circa NAP -0,8m en 'hoog' betekent dat er ontgraven moet worden tot circa NAP -0,1m. Walmuur type 1 is 'laag' en type 2 is 'hoog' (zie Figuur 2 en Figuur 6). Indien beide genoemd staan, betekent dit dat de berekeningen zijn uitgevoerd voor beide situaties.



Figuur 6 Walmuur type 1 'laag' en type 2 'hoog' in Plaxis model





Figuur 7 Locatie beschouwde doorsneden

Onderstaande uitgangspunten zijn gehanteerd ten behoeve van de berekeningen.

- Waterbodenniveau NAP -2,3m oplopend tot circa NAP -0,8m ter plaatse van de walmuur;
- (Grond)waterstand NAP +0,58m;
- Voor de aanleg van rioolkisten in 5.12e Gracht is in de jaren '80 van de vorige eeuw gedurende acht tot negen maanden een bemaling actief geweest voor een bouwkuip waarin de waterstand is verlaagd tot circa NAP -2,30m [1];
- Ten behoeve van de herstelwerkzaamheden wordt een hulpdamwand in de gracht geplaatst (statisch gedrukt). In de berekeningen is een Larssen 22 damwandprofiel gehanteerd met een damwandvoetniveau van NAP -6,5m [14];
- De permanente damwand (profiel Larssen 22) heeft een voetniveau van NAP -7,0m [14];
- De hulpdamwand wordt gestempeld op een hulpconstructie aan de achterzijde van de walmuur of, als de ruimte dit toelaat, op de ondergrond. In de berekeningen is een

stempelniveau van NAP +0,75m gehanteerd. Gezien de beperkte ruimte tot de belendingen ter plaatse van de beschouwde doorsneden is als aanname ten behoeve van de berekening gekozen voor een hulpconstructie (lichte damwandprofielen) met een voetriveau van NAP -1,3m. Opgemerkt wordt dat het ontwerp van de hulpconstructie niet vastligt in een ontwerp en dit derhalve een aanname betreft.

- De hulpdamwand in de gracht wordt statisch getrokken;
- Er wordt vanuit gegaan dat de belendingen op staal gefundeerd zijn. In de berekeningen is op basis van de beschikbare tekeningen en het uitgevoerde funderingsonderzoek, een funderingsniveau van NAP -0,1m aangehouden;
- Funderingsbreedte van de werfmuur is aangehouden op 1,0m;
- Voor de funderingsbelasting zijn de volgende waarden aangehouden [2] :
  - Werfmuren en Oudegracht 320: UGT belasting van 60 kN/m';
  - Twijnstraat a/d Werf: UGT belasting van 70 of 85 kN/m' (in verband met een gevoeligheidsanalyse).

De voor de berekeningen benodigde BGT belasting is bepaald door de UGT belasting te delen door een factor 1,35

In Bijlage II is de geometrie gegeven van de beschouwde doorsneden.



## 3 Invloedsbronnen

### 3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de, qua omgevingsbeïnvloeding, belangrijkste invloedsbronnen.

### 3.2 Plaatsen hulpdamwand

Het plaatsen van de hulpdamwand in de gracht zal naar verwachting geen vervorming veroorzaken ter plaatse van de belendende panden (invloed door introductie schuifspanningen tijdens het drukken van de damwanden). De riolering kan mogelijk worden beïnvloed door het indrukken van de tijdelijke damwand en de permanente damwand op korte afstand van de palen. Hiervoor is uitgegaan van een verticale zakking van 5mm ter plaatse van de riolering, zie ook paragraaf 5.4.

### 3.3 Ontgraving ten behoeve van slopen walmuur

Hoe dichterbij de funderingen op staal wordt ontgraven, hoe groter het risico op grondvervormingen ter plaatse van de fundering. Bij een kleine afstand tussen de fundering en de walmuur moet gebruik worden gemaakt van een hulpwand direct achter de te slopen walmuur. Om de grondvervormingen te beperken moet deze hulpwand gestempeld worden met de hulpdamwand in de gracht.

Ter plaatse van de Twijnstraat a/d Werf wordt in tegenstelling tot het gehanteerde Plaxis model wel een hulpwand geplaatst op de werf. In de Plaxis berekening is rekening gehouden met een beperkte ontgraving met een zo steil mogelijk talud (zie Bijlage IV). De verwachting is dat door het toepassen van een hulpwand de deformaties die optreden bij de belending als gevolg van de ontgraving, geringer zullen zijn dan berekend.

### 3.4 Plaatsen permanente damwand

Het valt niet uit te sluiten dat door het inbrengen van de permanente damwand een beperkte grondvervorming optreedt ter plaatse van de belendingen, daarom is een beperkte vervorming in de risicoanalyse meegenomen. Uit ervaringen met vergelijkbare situaties is de verwachting dat hierbij rekening moet worden gehouden met een additioneel zettingsaandeel van circa 1mm-5mm.

In de risicoanalyse is rekening gehouden met een additionele zakking van 4mm ter plaatse van belendingen op korte afstand van de permanente damwand (< 2,0m). Op grotere afstand is een additionele zakking van 1mm meegenomen in de risicoanalyse.

### 3.5 Trekken hulpdamwand

Uit de uitgevoerde berekeningen blijkt dat, vanuit het oogpunt van omgevingsbeïnvloeding, met name het trekken van de hulpdamwand een risico kan vormen voor de belendingen op korte afstand van de werkzaamheden.

Om deze invloed te beperken wordt het aanbevolen om, indien mogelijk, de hulpdamwand verder (zo ver mogelijk) van de permanente damwand te plaatsen. Dit heeft een directe invloed op de berekende verplaatsingen. Mocht dit niet mogelijk of niet voldoende zijn dan kan de hulpdamwand

mogelijk reparerend getrokken worden (gelijktijdig inbrengen bentoniet) of, indien noodzakelijk, dat de hulpdamwanden als verloren moeten worden beschouwd (afbranden). De daadwerkelijke invloed moet blijken uit de monitoring van de werkzaamheden (in de berekeningen is bijvoorbeeld geen rekening gehouden met 'grondverbetering' ten gevolge van de aanwezige houten palen). Tevens wordt deze gevoeligheid voor het trekken van damwanden vlak bij een bestaande grondkering voornamelijk waargenomen bij oudere grondkeringen met een lage stabiliteitsfactor. Op basis van bovenstaande wordt verwacht dat de daadwerkelijke invloed op de nieuwe walmuurconstructie naar verwachting geringer zal zijn dan berekend. Dit moet echter uit de resultaten van de monitoring blijken.

### 3.6 Verlagen grondwaterstand

In de berekeningen is rekening gehouden met een grondwaterstandsverlaging ter plaatse van de werf ten gevolge van de bemaling binnen de bouwkuip tot NAP -1,5m. De invloed van deze grondwaterstandsverlaging is beperkt, aangezien in het verleden al een grondwaterstandsverlaging tot NAP -2,3m heeft plaatsgevonden (bij ontlasten en herbelasten van de grond reageert deze stijver).

5.1.2.e is aangegeven dat per bouwkuip de volgende fasering wordt aangehouden:

1. verlaging tot NAP +0.0m (duur 10 dagen);
2. verlaging tot NAP -1.50m (duur 11 dagen);
3. verlaging tot NAP +0.0m. (duur 25 dagen);
4. verlaging tot NAP -0.80m (duur 13 dagen);

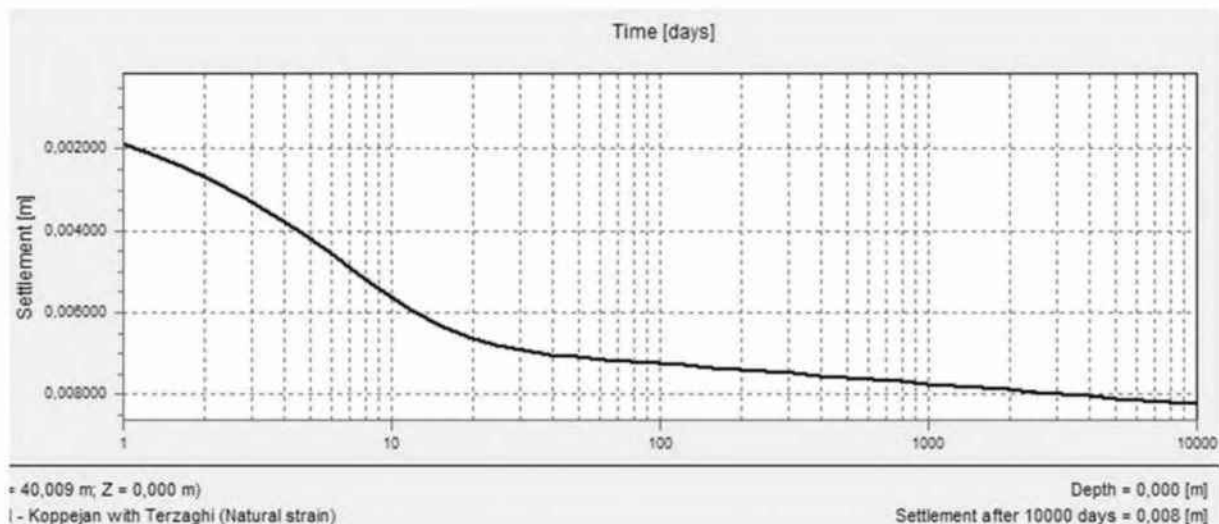
De totale bemalingsduur is dus beperkt tot 59 dagen per bouwkuip.

De grondwaterstandsverlaging is meegenomen in de Plaxis berekening. Daaruit volgt, afhankelijk van de grondopbouw, een zetting van 2,0mm – 5,0mm ten gevolge van de grondwaterstandsverlaging ter plaatse van de belending.

Indicatief en ter controle van de Plaxis berekening is tevens een berekening met D-Settlement (Koppejan) uitgevoerd voor de maatgevende grondopbouw. De uitgangspunten en rapportage van deze berekening zijn weergegeven in Bijlage VII. Opgemerkt wordt dat de gepresenteerde (standaard) D-Settlement rapportage betrekking heeft op de zettingen op maaiveldniveau (= NAP +1,0m) bij 5.1.2.e en niet op funderingsniveau (gesteld op circa NAP +0,0m).

In Figuur 8 is de berekende tijd-zettingslijn uit de D-Settlement berekening op funderingsniveau ten gevolge van de grondwaterstandsverlaging weergegeven. Hieruit volgt een maximale zetting van 8mm na 10.000 dagen (27 jaar). Doordat het pakket samendrukbare lagen bij 5.1.2.e op een niveau van NAP +0,0m circa 0,6m minder dik is dan op maaiveldniveau (zie Tabel 1), zijn de zettingen op funderingsniveau iets minder dan op maaiveldniveau. De zettingen op een niveau beneden maaiveld kunnen in D-Settlement alleen grafisch worden gepresenteerd. Op basis van de indicatieve D-Settlement berekening wordt geconcludeerd dat de zettingen ter plaatse van de belendingen ten gevolge van de grondwaterstandsverlaging beperkt zijn.





Figuur 8 Tijd-zettingslijn op NAP +0,0m (= funderingsniveau)

### 3.7 Trekken achterste palenrij bestaande walmuur

In [1] wordt aangegeven dat bij het inbrengen van de damwand vanuit wordt gegaan dat de houten palen en grondscherp kunnen blijven zitten, maar dat in de praktijk er plaatsen zullen zijn waar ook de funderingsresten van de oude walmuur verwijderd moeten worden.

Op basis van de ervaringen ter plaatse van fase 1 <sup>5.1.2.e</sup> wordt vanuit gegaan dat overal de achterste palenrij (gezien vanaf de gracht) verwijderd zal moeten worden. In principe kan dit worden uitgevoerd volgens de volgende methode:

- Plaatsen van casing van circa 0,5m om de paal om instorten van het gat te voorkomen;
- Trekken van de houten paal;
- Het ontstane gat meteen vullen met zand en dit zoveel mogelijk verdichten.

Het wordt aanbevolen niet te ver vooruit te werken (maximaal 1 dagproductie van de damwanden). De hoeveelheid zand welke in het ontstane gat kan worden aangebracht, in relatie tot de diameter en lengte van de paal, is een signalering om te controleren dat het gat niet is ingestort. Indien een gat is ingestort, dienen de eerstvolgende palen op een alternatieve manier getrokken te worden. Hierbij kan gedacht worden aan het verbuisd trekken van de palen (over de volledige lengte) en de ontstane ruimte vervolgens te vullen met zand of bentoniet/dämmer.

Het wordt bij deze methode opgemerkt dat op de locatie van de getrokken palen later weer een damwand dient te worden aangebracht. Het injectiemiddel dient dus niet zo hard te worden dat dit later weer tot problemen leidt.

## 4 Aanpak omgevingsbeïnvloeding

### 4.1 Inleiding

Door bouwwerkzaamheden in stedelijke omgeving kunnen trillingen en spanningsveranderingen in de grond worden veroorzaakt. De spanningsveranderingen en trillingen in de grond kunnen leiden tot grondvervormingen (zettingen en horizontale vervormingen), die zich in een bepaald invloedsgebied rondom de bouwwerkzaamheden uitstrekken. Bestaande constructies (gebouwen en leidingen) die zich in dit invloedsgebied bevinden, ondergaan via de fundering deze (verschil)grondvervormingen en kunnen daardoor mogelijk schade ondervinden. De mogelijke schaderisico's door zettingen en trillingen dienen, in het kader van een risicoanalyse, middels de huidig ter beschikking staande voorspellingsmethodieken voor iedere projectspecifieke situatie rekenkundig te worden onderzocht. Hierbij dient rekening te worden gehouden met de grondgesteldheid, de uitvoeringsmethode en het incasseringsvermogen van de belendende constructies (constructietype, conditie en funderingswijze).

### 4.2 Beschouwde invloedsbronnen

De omgevingsbeïnvloeding is uitgevoerd voor de op staal gefundeerde belendingen. De volgende invloedsbronnen zijn rekenkundig beschouwd:

- Het verlagen van de grondwaterstand;
- Het slopen van de bestaande walmuur;
- Het verwijderen van de hulpdamwand.

De hulpdamwand wordt gestempeld op een hulpconstructie aan de achterzijde van de walmuur of, als de ruimte dit toelaat, op de ondergrond. Gezien de korte afstand tot de belendingen op veel locaties wordt het onzorgvuldig inbrengen en/of de keuze voor een constructie die niet voldoende stijfheid bezit als groot risico voor additionele verplaatsing van de belendingen gezien, welke niet rekenkundig is te kwantificeren.

### 4.3 Doel en methode van de schadevoorspelling

#### 4.3.1 Doel van de schadepredicties

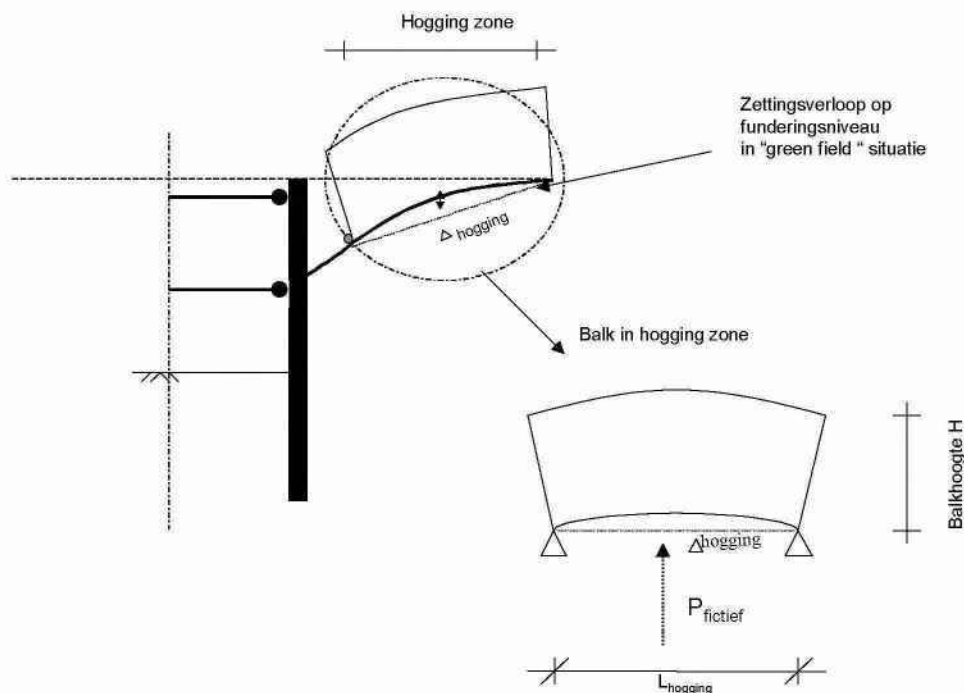
Schadepredicties worden uitgevoerd om in het ontwerpstadium met de gevolgen van omgevingsbeïnvloeding van bouwwerkzaamheden in binnenstedelijke omgeving rekening te kunnen houden. Het doel hiervan is om het ontwerp, de keuzes voor de bouwmethodes en mogelijke preventieve mitigerende maatregelen zodanig te optimaliseren, dat de kans op schade rekenkundig beperkt blijft tot een in de ontwerppraktijk voor binnenstedelijke bouwprojecten als acceptabel geacht minimum. Bovendien wordt de ontwerp kennis uit de schadepredictie in combinatie met monitoring gebruikt voor een proactieve risicobeheersing tijdens de uitvoering.

#### 4.3.2 Methode der grensrekken

Met deze empirisch, analytische rekenmethodiek worden maatgevende rekken in het gebouw ten gevolge van de opgelegde verschil(grond)vervormingen bepaald. Het gebouw wordt hierbij vereenvoudigd geschematiseerd door een geavanceerd balkmodel (Timoshenko balk rekening houdend met buig- en afschuifvervormingen). Er wordt geen rekening gehouden met grond - constructie interactie waardoor de methode wordt geacht een conservatieve bovengrens van te verwachten schade weer te geven. Deze empirisch getoetste methodiek geeft een indicatie weer van

de mogelijke schadeomvang ten gevolge van de aanleg van de bouwkuipconstructie. De methodiek geeft de state-of-the-art in de ontwerp praktijk in het binnen- en buitenland weer en is succesvol toegepast voor schadepredicties van belendingen bij klein- en grootschalige ondergrondse bouwprojecten in binnenstedelijke omgeving.

De empirisch, analytische "*Methode der grensrekken*" wordt in dit rapport gebruikt ter bepaling van schade aan belendende panden. De principes van deze methodiek zijn het bepalen van geometrische schadeparameters ("angular distorsion" (relatieve hoekverdraaiing), "deflection ratio" (relatieve doorbuiging) en horizontale rek uit de greenfield grondvervormingen ter plaatse van het gebouw. Het gebouw (geschematiseerd als een balk) wordt gesplitst in een opbuigingszone (hogging) en een doorbuigingszone (sagging); zie Figuur 9.



Figuur 9 Schematisering methode der grensrekken voor verticale verschilzettingen

Op de als balk geschematiseerde constructie worden de grondvervormingen opgelegd en worden vervolgens met behulp van mechanische formules conform de elasticiteitsleer lineair-elastische rekken berekend. Om met een grote bandbreedte van in de praktijk voorkomende L/H (lengte/hoogte)-verhoudingen van constructie-elementen rekening te houden, wordt daarbij in de balkformules o.a. met afschuifvervormingen rekening gehouden. De berekende rekken worden vervolgens gerelateerd aan empirisch afgeleide observaties tussen rekken en optredende schade. Verschillende mate van scheurvorming zijn met het oog op de mogelijkheid van schadereparatie (scheurreparatie) gerelateerd aan een schade classificatiesysteem van het Building Research Establishment (BRE), zie Tabel 4.

De perceptie van schade is subjectief en duidelijk cultuurgebonden. Vaak worden ook binnen een project verschillende acceptabele niveaus gedefinieerd, die bijvoorbeeld afhankelijk zijn van:

- Functie/status (monumentaal pand)
- Constructietype (metselwerk, betonconstructie, slanke hoge gebouwen)

Tabel 4 schade classificatiesysteem conform BRE

Schadecategorie	Schadeklasse
Esthetische, architectonische schade	Verwaarloosbaar
	Zeer licht
	Licht
Functionele Schade	Matig
	Ernstig
Constructieve Schade (Stabiliteitsproblemen)	Zeer ernstige schade

Door de gekozen conservatieve berekeningsaannamen (geen beschouwing van interactie tussen gebouw en grond) wordt rekenkundig een bovengrens van de te verwachten schade bepaald. Als acceptabele grens in de ontwerp praktijk wordt de schadeklasse "lichte" esthetische schade aangehouden (zie groen gearceerd gebied in 5.1.2.e).

Naar aanleiding van het overleg met Bouw- en woningtoezicht is nog een nadere toelichting gegeven ten aanzien van de schade predictiemethodiek en classificatie. In Figuur 10 is de complete tabel met de schade classificatie gegeven (uit "Building response due to ground movements"; 5.1.2.e). Tabel 4 is een samenvatting van Figuur 10. In de tabel van Figuur 10 is naast de schade klassen tevens een beschrijving van het schadebeeld gegeven dat bij de desbetreffende schadeklasse hoort. Hierbij worden nog een aantal toelichtingen gegeven over de achtergronden:

- De schadebeschrijving van de verschillende schadeklassen is opgesteld uit oogpunt van "ease of repair", dus classificatie uit het oogpunt van de omvang van de reparatie van mogelijke schade. Zoals onderaan de tabel is aangegeven, mag de opgave van de maximale indicatieve scheurwijdtes niet gebruikt worden om de te verwachten schade *alleen* op deze scheurwijdte te baseren. Dit betekent dat scheurwijdte alleen niet als maat voor de schade kan worden gebruikt. De koppeling tussen de berekende rek (limiting tensile strain levels, 5<sup>e</sup> kolom in 5.1.2.e en het indicatieve schadebeeld / scheurwijdte is op basis van empirie gemaakt (zie literatuurlijst voor verschillende schadeobservaties en gemeten vervormingen in "Building response due to ground movements"; 5.1.2.e). Belangrijk hierbij is ook dat de rekenmethodiek ter bepaling van de maatgevende rekken bepaalde achtergronden kent, die tot een conservatieve inschatting van de rekken cq. de voorspelde schade leidt. Dit wordt hieronder nader toegelicht:
- De rekenmethodiek houdt geen rekening met interactie tussen grond en gebouw. De grondverschilvervormingen worden volledig opgelegd aan het gebouw. Door interactie en



het stijfheidsverschil van grond en gebouw in horizontale en verticale richting worden in werkelijkheid de verschilvervormingen en dus de geïntroduceerde rekken gereduceerd. De insteek van de rekenmethodiek is op dit punt daarom conservatief en levert rekenkundig de grootste rekken. Echter kunnen ook bepaalde spannings- en rekconcentraties reeds voorafgaand aan de, ten gevolge van de werkzaamheden, optredende grondvervormingen in het gebouw aanwezig zijn (b.v. bij gevelmuren rondom openingen van deuren en ramen), die anderzijds de schadegevoeligheid van een gebouw kunnen verhogen. Dus aan de ene kant is de rekenmethodiek conservatief voor de voorspelling van de mogelijke schade, omdat gunstig werkende interactie tussen grond en gebouw wordt verwaarloosd, aan de andere kant kunnen echter mogelijke initieel aanwezige en schadeverhogende spannings- en rekconcentraties in het gebouw niet in de berekeningen worden meegenomen. In de laatste 20 jaren heeft de veelvuldige toepassing van deze methodiek bewezen dat deze balans tot realistische, maar nog steeds voldoende veilige resultaten voor de schadevoorspelling leidt. Ook uit onze ervaringen bij een groot aantal projecten in de afgelopen 10 jaar in Nederland tonen de gemeten vervormingen en bijbehorende schades en de vergelijking met de schadevoorspellingen op basis van de methode der grensrekken aan, dat de schadevoorspelling een veilige bovengrens weergeeft.

- De horizontale "green field" verschilverplaatsingen die in de analyse met behulp van Plaxis worden berekend, worden dus zonder interactie direct en volledig in het gebouwmodel opgelegd. Er wordt dus voor de horizontale rek geen rekening gehouden met de stijfheid cq. interactie tussen constructie en grond in horizontale richting. In werkelijkheid zullen de verschilvervormingen door de interactie worden gereduceerd. De maximale toelaatbare verschilvervormingen die tot een bepaalde schadeklasse van een gebouw leiden zijn conform de berekeningen met de methode der grensrekken de berekende greenfield vervormingen. Om deze redenen wordt als bovengrens voor het monitoringsplan de maximale horizontale cq. verticale vervorming uit de greenfield berekeningen als grenswaarde vastgelegd, waarbij nog binnen de voorspelde schadeklasse wordt gebleven.

Category of damage	Damage class	Description of typical damage and ease of repair	Approximate crack width (mm)	Limiting tensile strain levels (Boscardin et al. (1989)) (%)
Aesthetic damage	Negligible	Hairline cracks of less than about 0,1mm width	up to 0,1mm	0 – 0.05
	Very slight	Fine cracks which can easily be treated during normal decoration. Perhaps isolated slight fracturing in building. Cracks in external brickwork visible on close inspection.	Up to 1mm	0.05 – 0.075
	Slight	Cracks easily filled. Redecoration probably required. Several slight fractures showing inside of building. Cracks are visible externally and some repainting may be required externally to ensure water tightness. Doors and windows may stick slightly	Up to 5mm	0.075 – 0.15
Functional damage, affecting Serviceability	Moderate	The cracks require some opening up and can be patched by a mason. Recurrent cracks can be Masked by suitable linings. Repainting of external brickwork and possibly a small amount of brickwork to be replaced. Doors and windows sticking. Service pipes may fracture. Weather-tightness often impaired.	5 to 15mm or a number of cracks > 3 mm	0.15 – 0.3
	Severe	Extensive repair work involving breaking out and replacing sections of walls, especially over doors and windows. Windows and door frames distorted, floors sloping noticeably. Walls leaning or bulging noticeably, some loss of bearing in beams. Service pipes disrupted.	15 to 25mm , but also depends on number of cracks	> 0.3
Structural damage affecting stability	Very severe	This requires a major repair involving partial or complete rebuilding. Beams loose bearing, walls lean badly and require shorting. Windows broken with distortion. Danger of instability.	Usually > 25mm, but depends on number of cracks	

Notes for table:

1. There is no simple relationship between serviceability and degree of visible damage
2. It must be emphasized that in assessing the degree of damage, account must be taken of both the location and market value of the building.
3. Crack width is one factor in assessment and should not be used on its own as a direct measure of damage.
4. Boscardin et al. (1989) describe the damage corresponding to the tensile strain in the range 0,15 – 0,3% as 'moderate to severe'. However none of the cases quoted by them exhibit severe damage for this range of strains.

Figuur 10 Complete tabel met schade klassen

Documentnummer: RA12172d3

Project: Risicoanalyse renovatie walmuren

5.1.2e / m 5.1.2e

Projectnummer: 12172

Afdrukdatum: 9-9-2013

Pagina: 20



#### 4.4 Doel monitoring tijdens de uitvoering

Het doel van het monitoren tijdens de uitvoering van de bouwwerkzaamheden is om, in verschillende stadia van de uitvoering, gegevens over de ontwikkeling van mogelijke omgevingsbeïnvloeding (door het meten van bijvoorbeeld damwandvervormingen, vervormingen en trillingen ter plaatse van de belendingen) ter beschikking te hebben. De gemeten waarden worden tijdens de uitvoering met de in een monitoringsplan opgestelde alarm- en grenswaarden vergeleken.

Indien gaandeweg het bouwproces door de metingen onvoorziene afwijkingen van de voorspelling worden geconstateerd, kan door een terugkoppeling van de monitoringsresultaten met de schadepredicties op tijd worden bepaald of het wel of niet noodzakelijk is om een (zettings- of trillingsreducerende) maatregel te treffen en zo ja welke maatregel het meest effectief zal zijn. Op deze manier kan met behulp van de meetdata op de voortgang en de prestatie van het bouwproces op tijd worden geanticipeerd en kunnen maatregelen worden genomen. Het monitoringsplan is een belangrijk onderdeel van de proactieve risicobeheersing, waarbij het adagium geldt "op tijd meten is op tijd weten".

De deskundige interpretatie en beoordeling van de monitoringsresultaten is essentieel voor een proactieve risicobeheersing en vormt de basis om te kunnen beslissen over de noodzaak van het toepassen van een economische (zettings- of trillingsreducerende) maatregel gedurende het bouwproces. Door de combinatie van de verschillende meetinformatie (bijvoorbeeld grondwaterstandsmetingen, hoogtemetingen van de panden, metingen van de horizontale vervorming van de damwand en trillingsmonitoring) zijn de invloedsbronnen duidelijk te achterhalen. In de afweging voor het nemen van een maatregel is de monitoring van de belendende constructies als maatgevend te beschouwen.

5.1.2.e wordt aansluitend op deze risicoanalyse een integraal monitoringplan opgesteld waarmee invulling wordt gegeven aan bovenstaande aanpak.



## 5 Berekende grondvervormingen

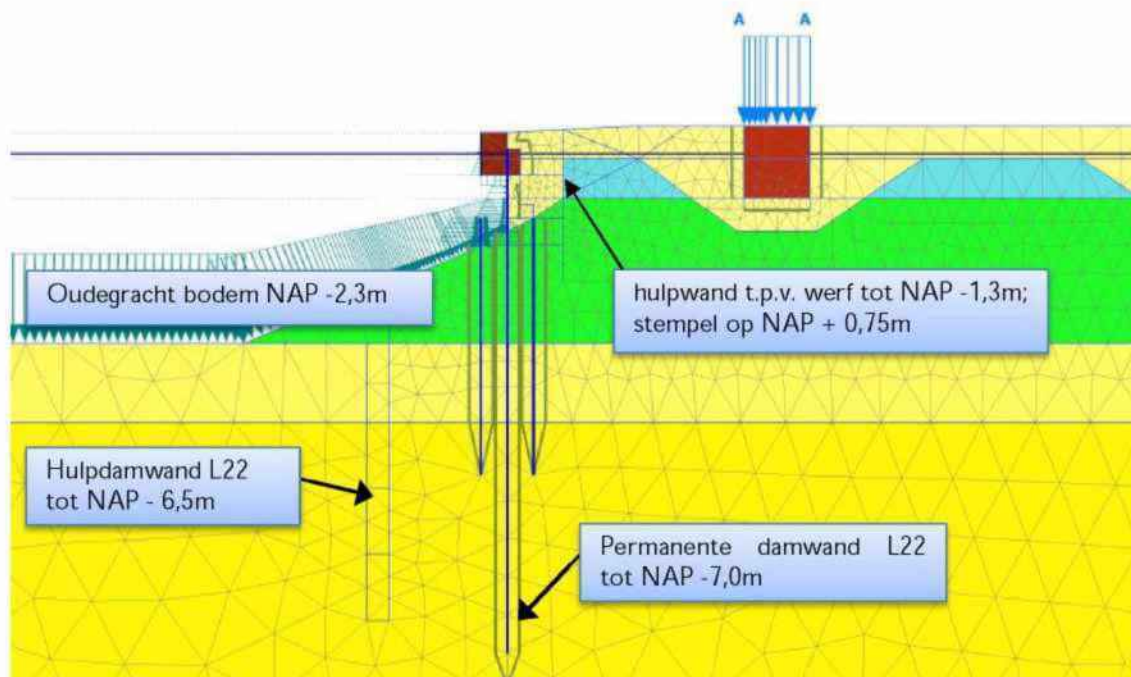
### 5.1 Algemeen

In deze paragraaf wordt de vervorming van de werfmuur als gevolg van de werkzaamheden met behulp van het EEM computerprogramma Plaxis gekwantificeerd.

Om de meest ongunstige situatie (de maximale grondvervormingen) te beschouwen is voor de kleilaag gedraineerd gedrag verondersteld. De berekeningen zijn uitgevoerd met het HSSmall model waarin rekening wordt gehouden met een niet-lineaire spanning-rekrelatie en onderscheid wordt gemaakt in een stijfheid voor belasten en ontlasten.

### 5.2 Plaxis model

Een overzicht van de met Plaxis beschouwde principe oplossing is weergegeven in Figuur 11. In de berekeningen is uitgegaan van de bouwfaserings zoals weergegeven in [1] en [14]. In Bijlage III is de grafische fasering van de referentie oplossing opgenomen.



Figuur 11 Referentieoplossing

Tabel 5 Fasering Plaxis model - referentieoplossing

Fase	Referentieoplossing
0 <sup>ii</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• initiële fasen waarin de bestaande situatie wordt gecreëerd;</li> </ul>
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• plaatsen hulpdamwand in gracht (L22, voethniveau NAP -6,5m);</li> <li>• plaatsen hulpwand (tot NAP -1,3m) ter plaatse van werf (t.b.v. afstempelen hulpdamwand);</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ontgraven tot NAP +0,3m;</li> <li>• plaatsen stempel op NAP +0,75m;</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• verlagen waterstand in bouwkuip tot NAP -1,5m;</li> <li>• waterstand achter hulpwand NAP -1,5m in ca. 5m verlopend naar NAP +0,58m ter plaatse van werf;<sup>iii</sup></li> </ul>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• slopen walmuur tot NAP -0,4m/-0,8m (walmuur type 1 'laag') / NAP -0,1m (walmuur type 2 'hoog')</li> </ul>
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• waterstand in bouwkuip verhogen tot NAP +0,0m, in ca. 5m verlopend naar NAP +0,58m ter plaatse van werf;</li> <li>• plaatsen permanente damwand (L22 voethniveau NAP -7,0m);<sup>iv</sup></li> </ul>
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• verwijderen stempels; aanvullen grond achter permanente damwand;</li> </ul>
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• verhogen waterstand tot NAP +0,58m;</li> </ul>
8 <sup>v</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• trekken hulpdamwand gracht (verlaging korrelspanning);</li> </ul>
9 <sup>vi</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• volumeverlies t.g.v. trekken hulpdamwand gracht;</li> </ul>

<sup>ii</sup> In de fasering is rekening gehouden met de historische grondwaterstandsverlaging tot NAP -2,3m door in één fase de waterstand in het model te verlagen tot NAP -2,3m en in de volgende fase de waterstand te verhogen tot NAP +0,58m.

<sup>iii</sup> Er is gevarieerd in het verloop van de grondwaterstand. Het steil laten verlopen van de grondwaterstand is ongunstiger voor de berekende vervormingen dan een flauwer verloop. Dit komt doordat de draagkracht van de fundering toeneemt bij een lagere grondwaterstand. Bij een toename van de draagkracht zal de funderingsstrook minder verplaatsen in de richting van de werkzaamheden.

<sup>iv</sup> Ter plaatse van de walmuren bij Twijnstraat aan 5.1.2.e (doorsnede 4) worden Larssen 22 10/10 en Larssen 23 toegepast met een voethniveau van NAP -8,0m. Het rekenen met een damwand van het type Larssen 22 met een voethniveau van NAP -7,0m is een conservatieve aanname. De gunstige effecten van een hogere buigstijfheid en grotere lengte van de damwand worden namelijk niet in de berekeningen meegenomen.

<sup>v</sup> gemodelleerd door opgelegde verplaatsing aan damwand.

<sup>vi</sup> gemodelleerd door 'volumetric strain' aan clusters (met breedte van de damwand) op te leggen.

### 5.3 Resultaten berekening

Een overzicht van de berekende verplaatsingen van de nieuwe walmuur en op funderingsniveau van de belendingen is weergegeven in respectievelijk Tabel 6 en Tabel 7.

Tabel 6 Resultaten Plaxis berekening – verplaatsing nieuwe walmuur (excl. installatie effecten)

doorsnede [-]	variant [-]	werfmuur/woning [-]	Ux [mm]	
			zonder trekken hulpdamwand	met trekken hulpdamwand
Drasn 1 – werfmuur op 3,5m afstand	1-hoog		3	22
	1-laag		5	26
Drasn 2 – 5.1.2 e	1-hoog	hulpwand ter plaatse van werf tot NAP -1,3m	2	nvt.
Drasn 3 – 'Brouwerij'	1-hoog	zie CRUX rapport RA13193a4		
Drasn 4 – Twijnstraat a/d Werf	1-laag	funderingsbelasting 85 kN/m' (UGT) op 2,5m van voorzijde walmuur	7,5	nvt.
	3-laag	funderingsbelasting 70 kN/m' (UGT) op 3,0m van voorzijde walmuur	7	nvt.

Tabel 7 Resultaten Plaxis berekening – verplaatsing funderingsstrook belending (excl. installatie effecten)

doorsnede [-]	variant [-]	werfmuur/woning [-]	zonder trekken hulpdamwand		met trekken hulpdamwand		SF [-]
			Uy [mm]	Ux [mm]	Uy [mm]	Ux [mm]	
Drasn 1 – werfmuur op 3,5m afstand	1-hoog		-1	1	-11	6	1,4
	1-laag		-1	1	-12	7	1,5
Drasn 2 – 5.1.2 e	1-hoog	hulpwand ter plaatse van werf tot NAP -1,3m	-2	1	nvt	nvt	1,25
Drasn 3 – 'Brouwerij'	1-hoog	zie CRUX rapport RA13193a4					
Drasn 4 – Twijnstraat a/d Werf	1-laag	funderingsbelasting 85 kN/m' (UGT) op 2,5m van voorzijde walmuur	-10,5	4,5	nvt	nvt	1,26
	3-laag	funderingsbelasting 70 kN/m' (UGT) op 3,0m van voorzijde walmuur	-4	1,5	nvt	nvt	1,35

Opmerkingen bij de tabellen:

Uy = verticale verplaatsing bovenkant nieuwe walmuur dan wel op funderingsniveau

Ux = horizontale verplaatsing bovenkant nieuwe walmuur dan wel op funderingsniveau

nvt = niet van toepassing daar de damwanden reparerend getrokken worden (gelijktijdig onder druk inbrengen van bentoniet). Om deze reden is de invloed van het trekken niet beschouwd aangezien het volumeverlies in de grond opgevuld wordt met bentoniet.

SF = stabiliteitsfactor



Ter plaatse van de Twijnstraat a/d Werf draagt de hulpdamwand in de gracht, bij korte afstand tot de fundering van de belendingen, bij aan de macrostabiliteit van de fundering. Behalve de lagere belasting en verschil in afstand verklaard dit het geringe verschil in vervorming tussen de varianten *Drasn4 1-laag* en *Drasn4 3-laag*.

Naast de berekende verplaatsingen bevat Tabel 7 de waarde van de veiligheidsfactor van de constructie. De veiligheidsfactor heeft betrekking op de macrostabiliteit. Door middel van een stapsgewijze reductie van de sterkteparameters  $\phi'$  (hoek van inwendige wrijving) en  $c$  (cohesie) van de grond, wordt inzicht verkregen in de stabiliteit van de constructie. De reductie wordt doorgezet totdat de constructie komt te bezwijken. De mate waarin de sterkte is gereduceerd tot bezwijken, bepaalt de stabiliteit die de constructie bezit.

In het bouwbesluit wordt voor de partiële factor voor grondeigenschappen verwezen naar NEN 9997-1+C1. Voor de sterkteparameters  $c'$  (cohesie) en  $\phi'$  (hoek van inwendige wrijving) bedraagt de partiële factor ( $\gamma$ ) respectievelijk 1,45 en 1,25 (uitgaande van veiligheidsklasse RC2). Omdat de ondergrond voornamelijk uit zand bestaat, waarbij de cohesie 0 kN/m<sup>2</sup> bedraagt, wordt de sterkteparameter voor de cohesie feitelijk niet getoetst. Een waarde van de stabiliteitsfactor van 1,25 wordt derhalve voldoende geacht.

In Tabel 8 is het invloedsgebied aangegeven ten opzichte van nieuwe damwand waarbinnen gronddeformaties zijn berekend van meer dan 1mm.

Tabel 8 Resultaten Plaxis berekening – invloedsgebied

doorsnede [-]	variant [-]	werfmuur/woning [-]	zonder trekken hulpdamwand [m uit damwand]	met trekken hulpdamwand [m uit damwand]
Drasn 1 – werfmuur op 3,5m afstand	1-hoog		±6	±8
	1-laag		±3 <sup>vii</sup>	±7
Drasn 2 – 5.1.2 e	1-hoog	hulpdamwand ter plaatse van werf tot NAP -1,3m	±6	nvt
Drasn 3 – 'Brouwerij'	1-hoog	zie CRUX rapport RA13193a4		
Drasn 4 – Twijnstraat a/d Werf	1-laag	funderingsbelasting 85 kN/m' (UGT) op 2,5m van voorzijde walmuur	±5	nvt
	3-laag	funderingsbelasting 70 kN/m' (UGT) op 3,0m van voorzijde walmuur	±5	nvt

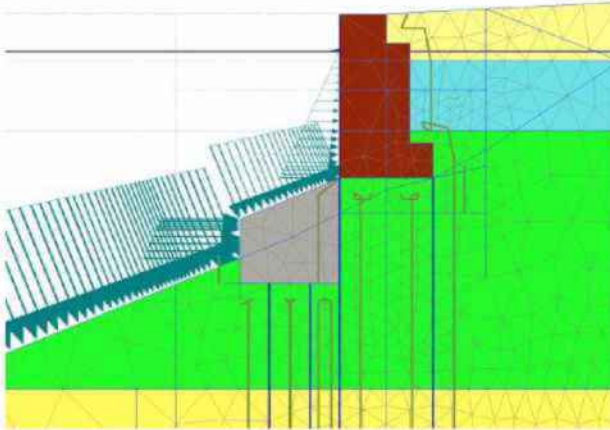
## 5.4 Riolering

De riolering blijft in functie gedurende de uitvoering. De riolering is gefundeerd op korte palen tussen ca. NAP -2,5m tot NAP -3,5m (afhankelijk van de variabele aanzet van de zandlaag conform de sonderingen). De maatgevende invloed wordt echter ook hierbij verwacht door het trekken van de tijdelijke damwand in de gracht aangezien de hulpdamwand tot onder paalpuntniveau loopt. Aandachtspunt is met name de tijdelijke verschilzetting in lengterichting van de leiding die optreedt gedurende het lokaal trekken van damwandplanken. In Plaxis is voor doorsnede 1 tevens de riolering gemodelleerd. Hieruit blijkt dat de riolering circa 2cm in horizontale richting verplaatst en circa 1cm

<sup>vii</sup> In het Plaxis model de bestaande riolering mee gemodelleerd in tegenstelling tot alle overige doorsneden.



in verticale richting. De riolering kan mogelijk ook worden beïnvloed door het indrukken van de tijdelijke damwand en de permanente damwand op korte afstand van de palen. Hiervoor is uitgegaan van een verticale zakking van 5mm ter plaatse van de riolering. Resultierend in een totale berekende zetting van 1,5cm. De toelaatbare (verschil)zetting van het riool is tijdens het opstellen van onderhavige rapportage niet bekend en dient te worden bepaald door de leidingbeheerder. Op basis van de informatie van de leidingbeheerder kunnen de berekende vervormingen worden getoetst.



Figuur 12 Plaxis model met riolering

## 5.5 Toetsing van de berekende vervormingen

Door de gekozen conservatieve berekeningsaannamen (geen beschouwing van interactie tussen gebouw en grond) wordt rekenkundig een absolute bovengrens van de te verwachten schade door de bouwwerkzaamheden voorspeld.

Het wordt benadrukt dat in de schadepredicties alleen de beïnvloeding door de uit te voeren werkzaamheden zijn meegenomen. Reeds opgetreden verschilzakkingen en horizontale verschil(vervormingen) van de belendende panden ten gevolge van eerder opgetreden invloeden zijn niet in deze beschouwing meegenomen. De resultaten van de schadepredictie zijn weergegeven in Tabel 9.

Ten behoeve van de schadepredictie is, op basis van de aangeleverde tekeningen, gevarieerd in de Lengte / Hoogte (L/H) verhouding van de belendingen ten einde een bandbreedte te krijgen van de te verwachten rek.

In de tabel zijn de schadeklassen "verwaarloosbaar geringe tot lichte esthetische schade" (conform Tabel 4) groen gearceerd weergegeven ("voldoet"). Dit schadeprofiel wordt binnen de huidige ontwerppraktijk voor binnenstedelijke projecten als een acceptabel schadeprofiel aangemerkt. Voor de berekening van de schadeklassen wordt verwezen naar Bijlage VIII. Een voorbeeldberekening is opgenomen in Bijlage IX.

Tabel 9 Resultaten schadepredictie

doorsnede [-]	variant [-]	werfmuur/woning [-]	Conclusie risicobeschoouwing (kans op schade)	
			Zonder trekken damwand	Na trekken damwand
Drasn 1 – werfmuur op 3,5m afstand	1-hoog		Voldoet (verwaarloosbaar)	Voldoet (licht)
	1-laag		Voldoet (verwaarloosbaar)	Voldoet (licht)
Drasn 2 – Oudegracht 320	1-hoog	hulpwand ter plaatse van werf tot NAP -1,3m	Voldoet (zeer licht)	n.v.t. (zie voetnoot)
Drasn 3 – 'Brouwerij'	1-hoog	zie CRUX rapport RA13193a4		
Drasn 4 – Twijnstraat a/d Werf	1-laag	funderingsbelasting 85 kN/m' (UGT) op 2,5m van voorzijde walmuur	Voldoet (licht)	n.v.t. <sup>viii</sup> (zie voetnoot)
	3-laag	funderingsbelasting 70 kN/m' (UGT) op 3,0m van voorzijde walmuur	Voldoet (verwaarloosbaar)	n.v.t. (zie voetnoot)

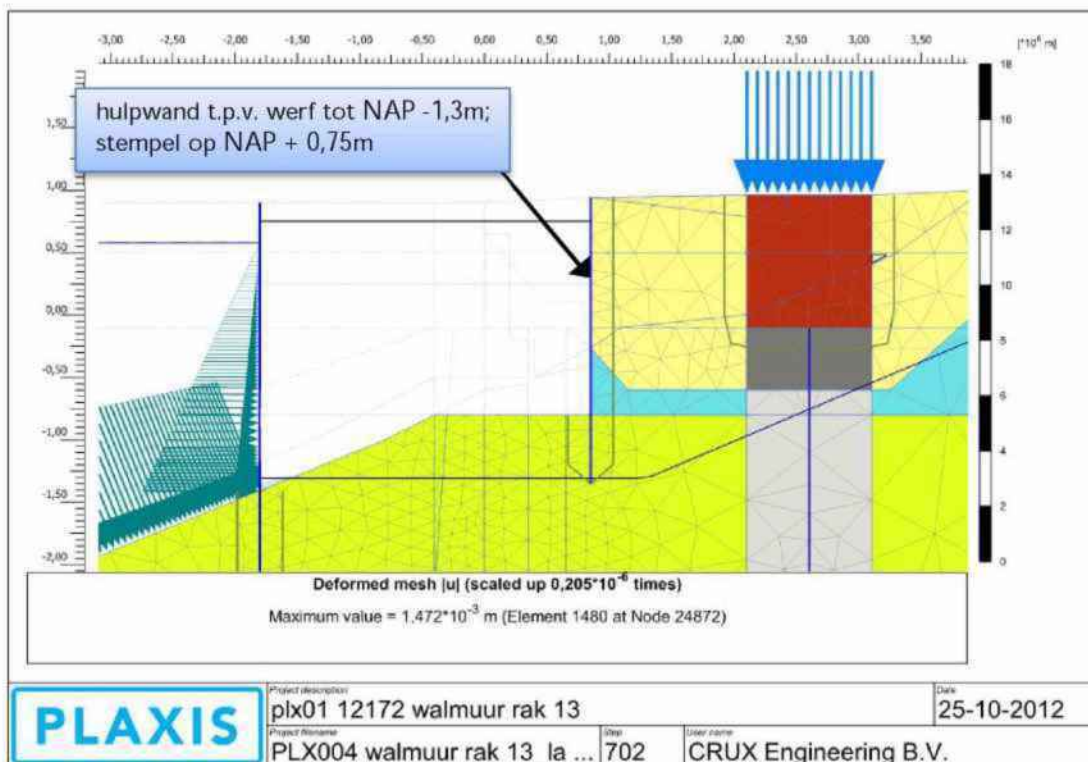
Uit de berekeningen volgt dat de schadeklasse beperkt is tot de acceptabele klasse verwaarloosbare tot lichte esthetische schade.

In de berekeningen is vanuit gegaan dat ter plaatse van de Twijnstraat a/d Werf en <sup>5.1.2 e</sup> de hulpdamwand in de gracht reparerend zal worden getrokken (gelijktijdig inbrengen van bentoniet). Hiervoor moeten voorafgaand aan het plaatsen van de damwand buisjes op de damwand worden aangebracht.

Ter plaatse van de Twijnstraat a/d Werf wordt in tegenstelling tot het gehanteerde Plaxis model wel een hulpwand geplaatst direct achter de walmuur (conform [1]) en afgestempeld op de hulpdamwand in de gracht (zie Figuur 13). In de Plaxis berekening is rekening gehouden met een beperkte ontgraving met een zo steil mogelijk talud (zie Bijlage IV). De verwachting is dat door het toepassen van een hulpwand de deformaties die optreden bij de belending als gevolg van de ontgraving, geringer zullen zijn dan berekend.

Indien de hulpwand op korte afstand (< 1,5m) van de belending (werfmuur / woning) wordt toegepast, moet het verwijderen van de hulpwand zeer zorgvuldig gebeuren waarbij zomin mogelijk grond mee omhoog moet worden getrokken. Dit kan namelijk lijden tot additionele verplaatsingen van de fundering. Na keuze van de aannemer voor de fasering / type hulpwand kan deze additionele invloed kwalitatief en/of rekenkundig worden beschouwd.

<sup>viii</sup> De damwanden moeten bij de doorsneden 2 en 4 reparerend getrokken worden (gelijktijdig onder druk inbrengen van bentoniet). Om deze reden is de invloed van het trekken niet beschouwd aangezien het volumeverlies in de grond opgevuld wordt met bentoniet.



Figuur 13 Hulpwand ter plaatse van werf



## 6 Conclusies en aanbevelingen

### 6.1 Conclusies

Uit de berekeningen volgt dat, op basis van de huidige gegevens, ter plaatse van de doorsneden 1, 2 en 4 de schadeklasse beperkt is tot een acceptabele klasse: verwaarloosbare tot lichte esthetische schade.

Uit de uitgevoerde berekeningen blijkt dat, vanuit het oogpunt van omgevingsbeïnvloeding, met name het trekken van de hulpdamwand een risico kan vormen voor de belendingen op korte afstand van de werkzaamheden.

Om deze invloed te beperken wordt het aanbevolen om, indien mogelijk, de hulpdamwand verder (zo ver mogelijk) van de permanente damwand te plaatsen. Dit heeft een directe invloed op de berekende verplaatsingen. Mocht dit niet mogelijk of niet voldoende zijn dan kan de hulpdamwand mogelijk reparerend getrokken worden (gelijktijdig inbrengen bentoniet) of, indien noodzakelijk, dat de hulpdamwanden als verloren moeten worden beschouwd (afbranden). De daadwerkelijke invloed moet blijken uit de monitoring van de werkzaamheden (in de berekeningen is bijvoorbeeld geen rekening gehouden met 'grondverbetering' ten gevolge van de aanwezige houten palen). Tevens wordt deze gevoeligheid voor het trekken van damwanden vlak bij een bestaande grondkering voornamelijk waargenomen bij oudere grondkeringen. Op basis van bovenstaande wordt verwacht dat de daadwerkelijke invloed op de nieuwe walmuurconstructie naar verwachting geringer zal zijn dan berekend. Dit moet echter uit de resultaten van de monitoring blijken. Deze resultaten zijn ten tijde van het opstellen van dit rapport nog niet bekend.

Opgemerkt wordt dat de uitvoeringsrisico's (zie ook paragraaf 6.2) rekenkundig niet kunnen worden beschouwd maar dat deze wel een grote invloed kunnen hebben op de optredende vervormingen en derhalve schaderisico van de belendingen.

### 6.2 Aanbevelingen / additionele risico's

#### 6.2.1 Trekken achterste palenrij bestaande walmuur

In [1] wordt aangegeven dat bij het inbrengen van de damwand vanuit wordt gegaan dat de houten palen en grondscherp kunnen blijven zitten, maar dat in de praktijk er plaatsen zullen zijn waar ook de funderingsresten van de oude walmuur verwijderd moeten worden.

Op basis van de ervaringen ter plaatse van fase 1 <sup>5.1.2.e</sup> wordt vanuit gegaan dat overal de achterste palenrij (gezien vanaf de gracht) verwijderd zal moeten worden. In principe kan dit worden uitgevoerd volgens de volgende methode:

- Plaatsen van casing van circa 0,5m om de paal om instorten van het gat te voorkomen;
- Trekken van de houten paal;
- Het ontstane gat meteen vullen met zand en dit zoveel mogelijk verdichten.

Het wordt aanbevolen niet te ver vooruit te werken (maximaal 1 dagproductie van de damwanden). De hoeveelheid zand welke in het ontstane gat kan worden aangebracht in relatie tot de diameter en lengte van de paal is een signalering om te controleren dat het gat niet is ingestort. Indien een gat is ingestort, dienen de eerstvolgende palen op een alternatieve manier getrokken te worden. Hierbij kan gedacht worden aan het verbuisd trekken van de palen (over de volledige lengte) en de ontstane ruimte vervolgens te vullen met zand of bentoniet/dämmer.

Het wordt bij deze methode opgemerkt dat op de locatie van de getrokken palen later weer een damwand dient te worden aangebracht. Het injectiemiddel dient dus niet zo hard te worden dat dit later weer tot problemen leidt.

#### 6.2.2 Hulpdamwand / hulpwand werf

De aannemer dient met mogelijke vervormingen bij het inbrengen van de hulpdamwand rekening te houden door de vervormingen van de kluisuren tijdens het inbrengen van de damwandplanken regelmatig te monitoren en de damwandplanken tijdens het plaatsen zo min mogelijk 'op en neer' te bewegen.

Het wordt opgemerkt dat in de Plaxis berekeningen, behalve ter plaatse van de Twijnstraat a/d Werf, vanuit is gegaan dat een hulpwand ter plaatse van de werf (direct achter de walmuur, conform [1]) wordt geplaatst waarop de hulpdamwand in de gracht afstempelt, zie Figuur 13. Indien deze hulpwand op korte afstand (< 1,5m) van de belending (werfmuur / woning) wordt toegepast, moet het verwijderen van de hulpwand zeer zorgvuldig gebeuren waarbij zomin mogelijk grond mee omhoog moet worden getrokken. Dit kan namelijk lijden tot additionele verplaatsingen van de fundering. Na keuze van de aannemer voor de fasering / type hulpwand kan deze additionele invloed kwalitatief en/of rekenkundig worden beschouwd.

In de berekeningen is vanuit gegaan dat ter plaatse van de Twijnstraat a/d Werf en 5.1.2.e de hulpdamwand in de gracht reparerend zal worden getrokken (gelijktijdig inbrengen van bentoniet). Hiervoor moeten voorafgaand aan het plaatsen van de damwand buisjes op de damwand worden aangebracht.

#### 6.2.3 Riolering

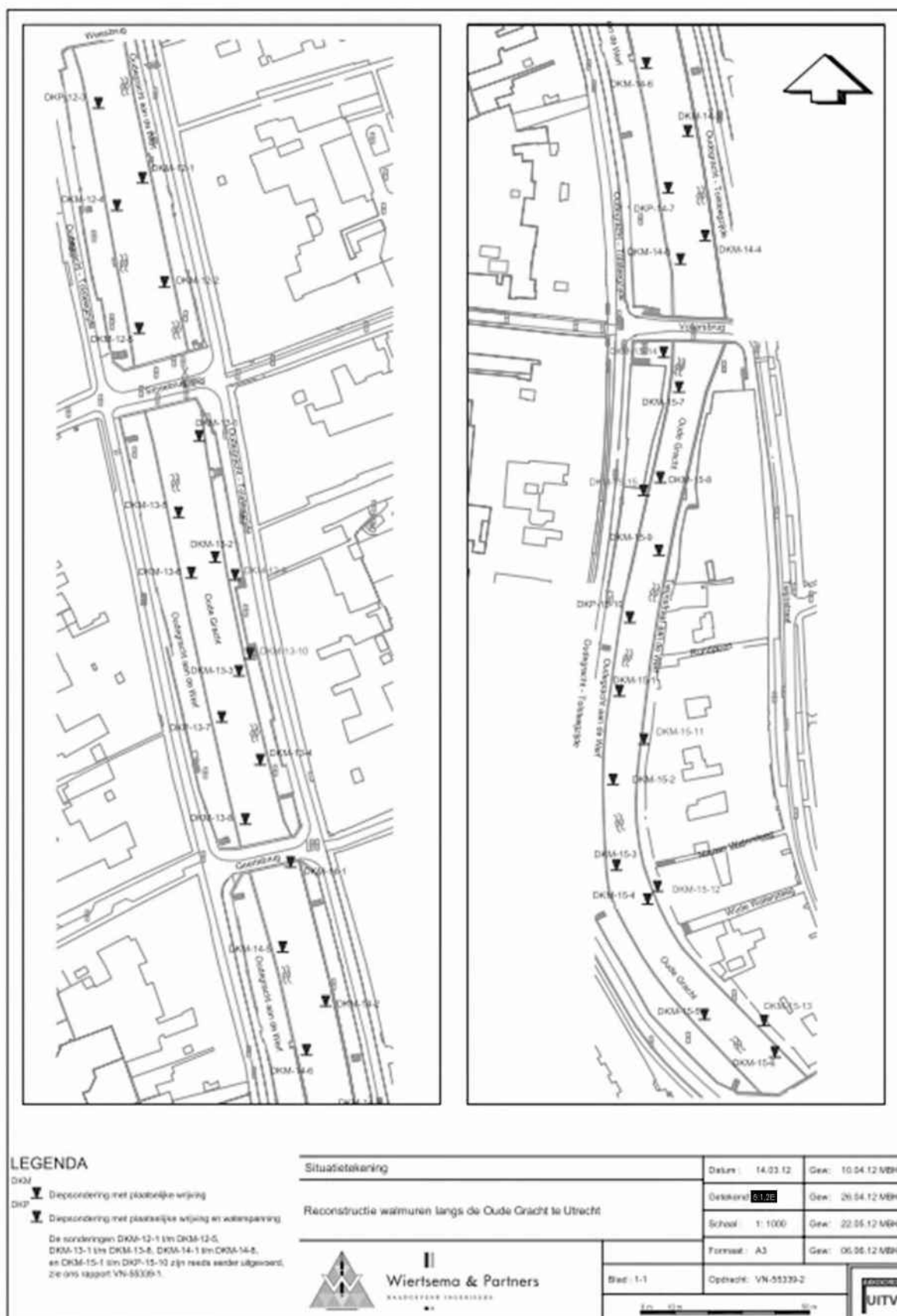
De maatgevende invloed wordt ook hierbij verwacht door het trekken van de tijdelijke damwand in de gracht aangezien de hulpdamwand tot onder paalpuntniveau loopt. Aandachtspunt is met name de tijdelijke verschilzetting in lengterichting van de leiding die optreedt gedurende het lokaal trekken van damwandplanken. Uit een berekening voor doorsnede 1 blijkt dat de riolering circa 2,0cm in horizontale richting verplaatst en circa 1,5cm in verticale richting. De toelaatbare (verschil)zetting van het riool is tijdens het opstellen van onderhavige rapportage niet bekend en dient te worden bepaald door de leidingbeheerder.

### 6.3 Monitoring

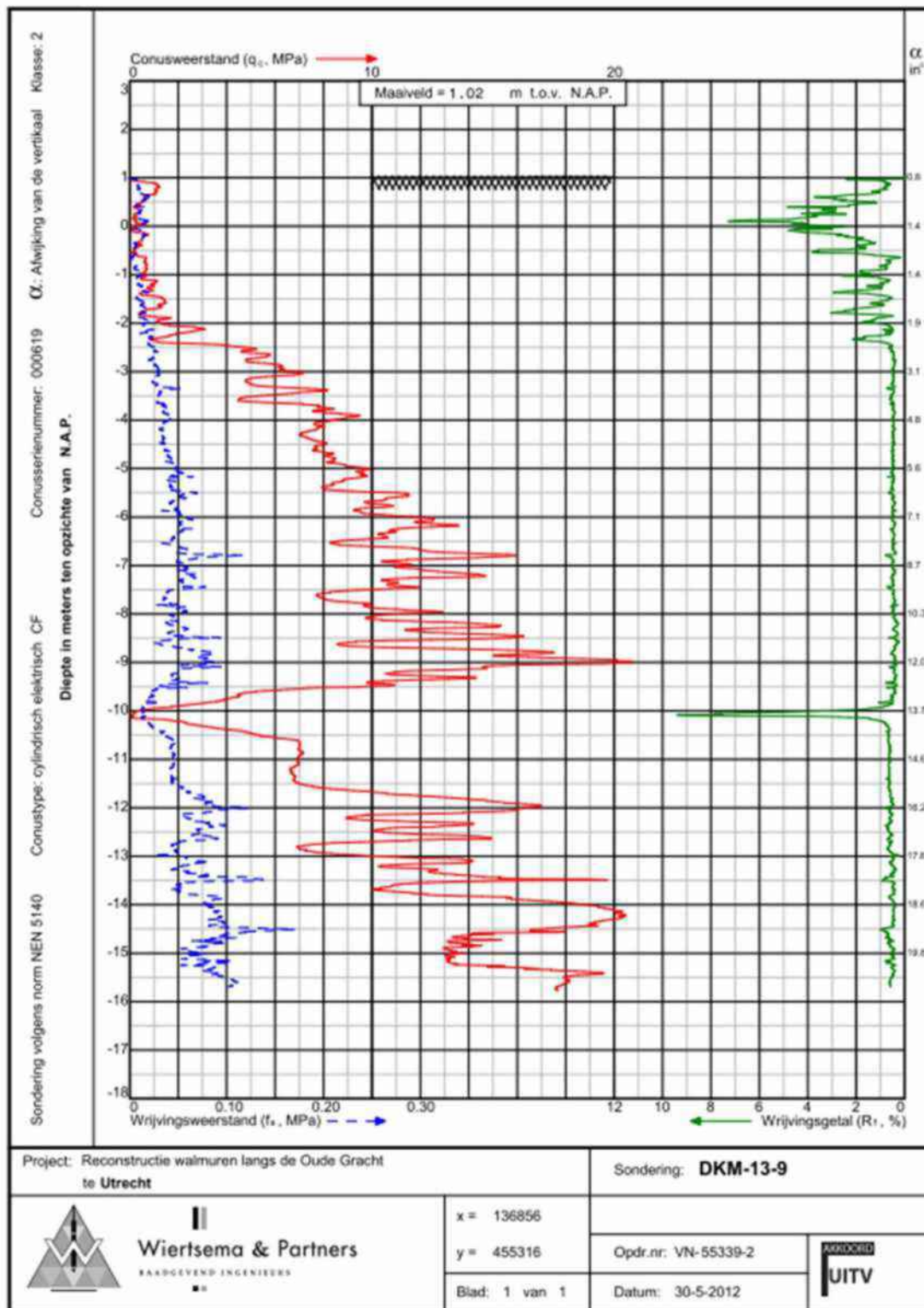
In een apart monitoringsplan zullen de monitoringswerkzaamheden worden besproken. In het plan worden de meetmomenten, de locatie van de meetinstrumenten en de te hanteren alarm- en grenswaarden nader gespecificeerd.

Vooralsnog wordt uitgegaan van het uitvoeren van hoogtemetingen aan de belendingen en het meten van bestaande scheuren met behulp van scheurmeters.

# Bijlage I Selectie grondonderzoek [6][7]

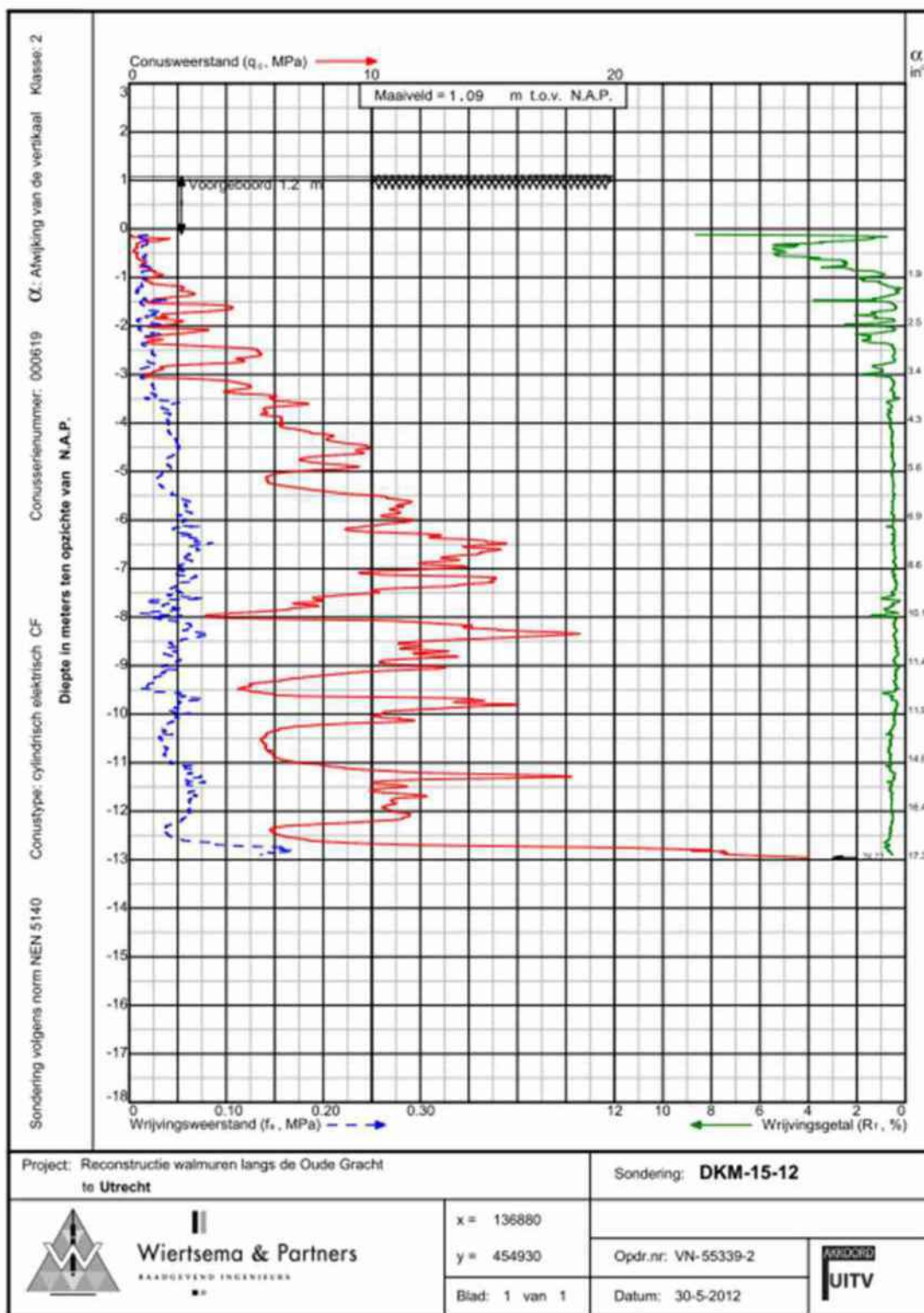






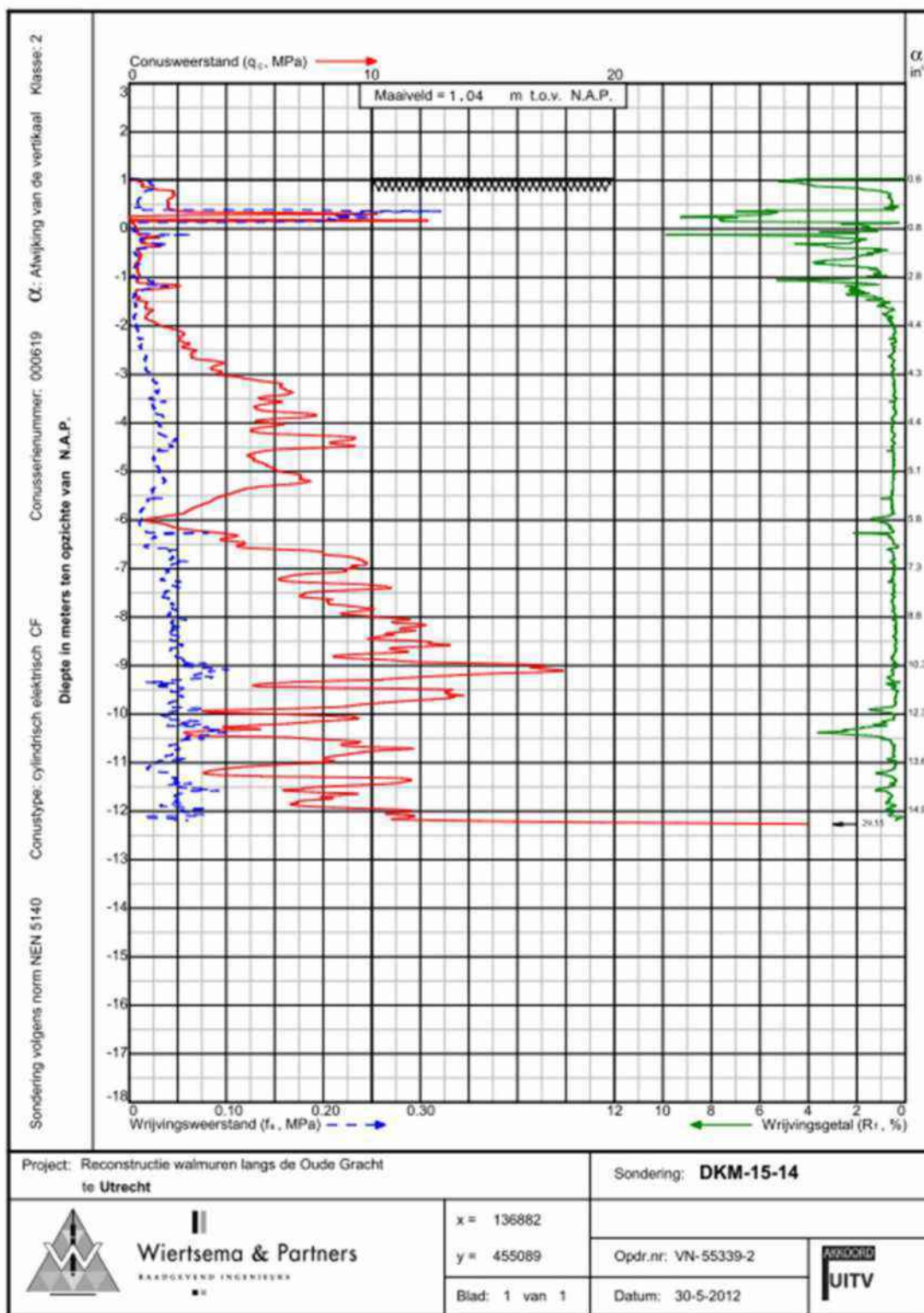
ad 9 van 19

55339-2 R19234 Resultaten geotechnisch onderzoek.pdf



lad 12 van 19

55339-2 R19234 Resultaten geotechnisch onderzoek.pdf



lad 14 van 19

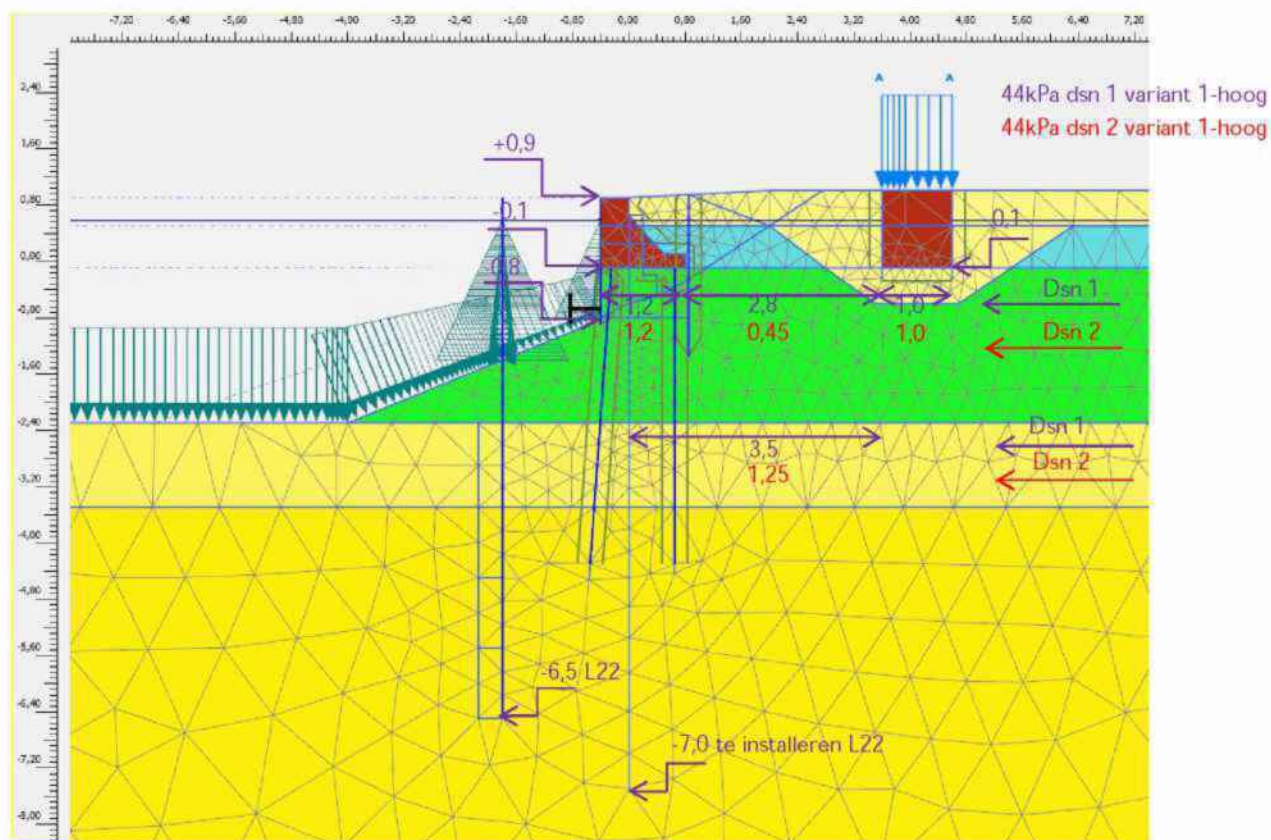
55339-2 R19234 Resultaten geotechnisch onderzoek.pdf



## Bijlage II Gehanteerde geometrie

Doorsnede 1 : variant 1-hoog

Doorsnede 2 : variant 1-hoog

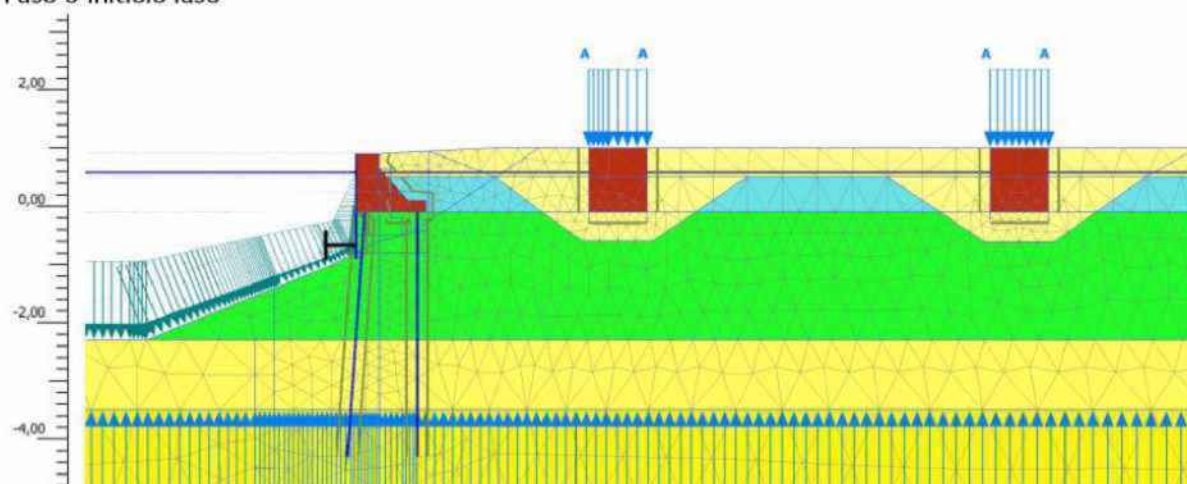


De in de berekeningen gehanteerde BGT belasting is bepaald door de UGT belasting (zie §2.7) te delen door een factor 1,35.

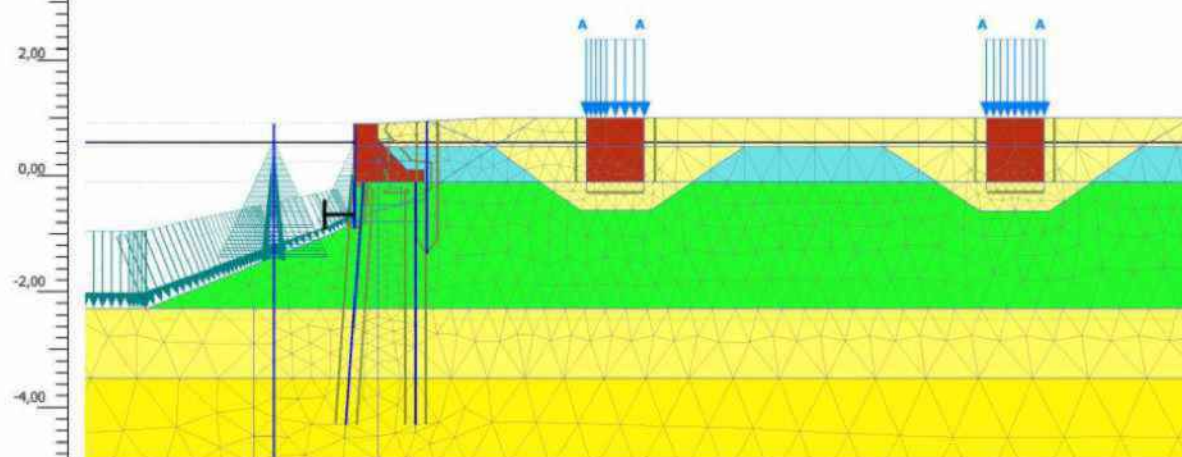
Doorsnede 4 – Twijnstraat a/d Werf : variant 3-laag



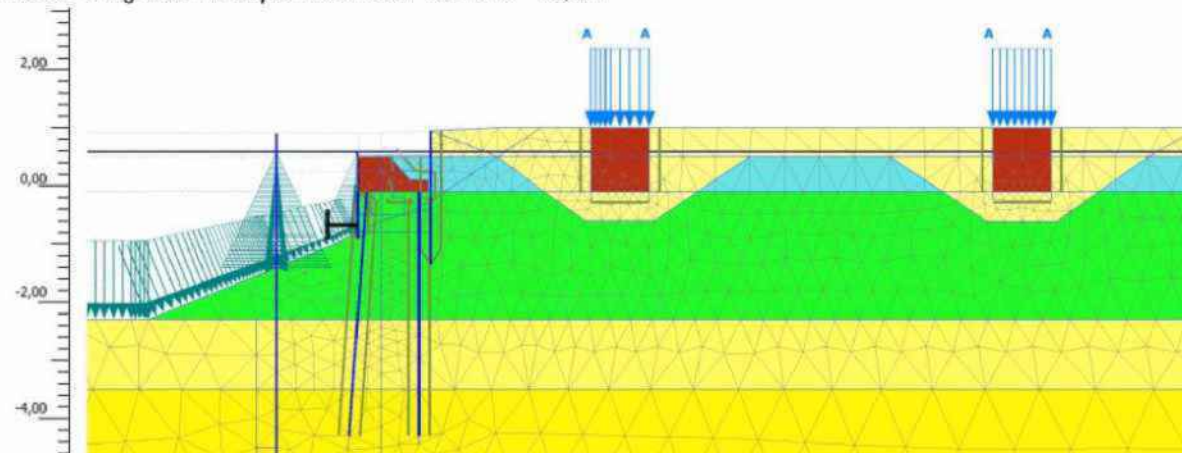
Fase 0 Initiële fase



Fase 1 plaatsen hulpdamwanden

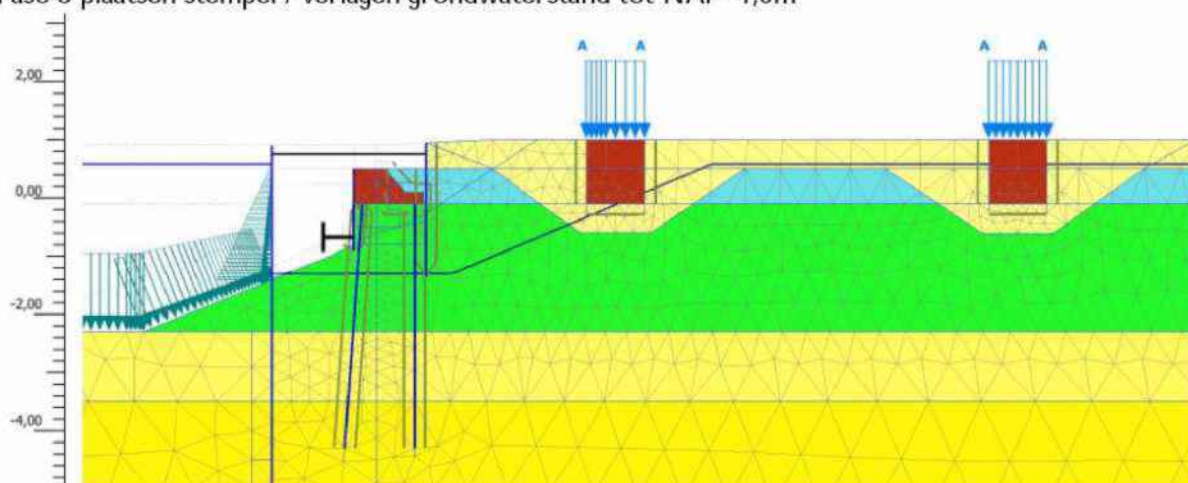


Fase 2 ontgraven / slopen walmuur tot NAP +0,5m

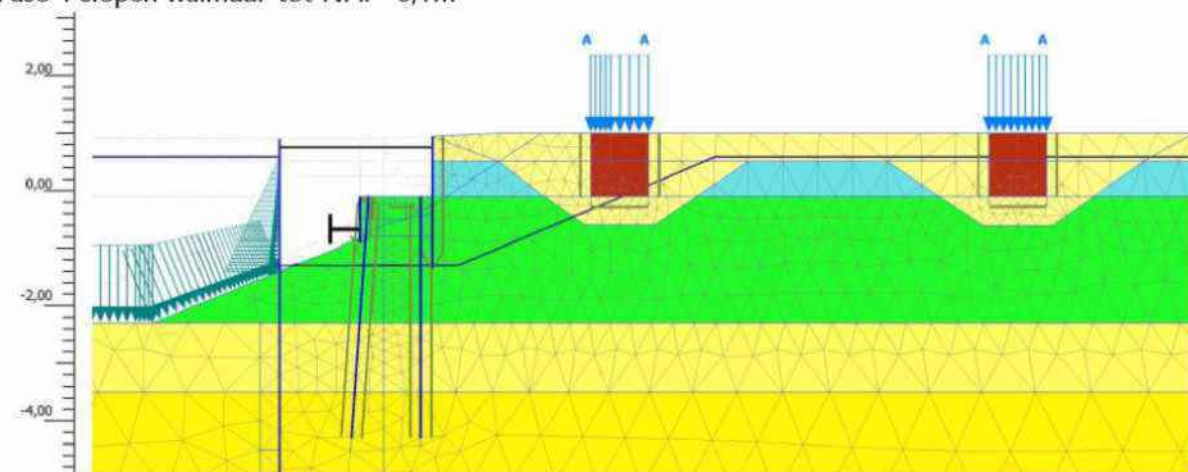




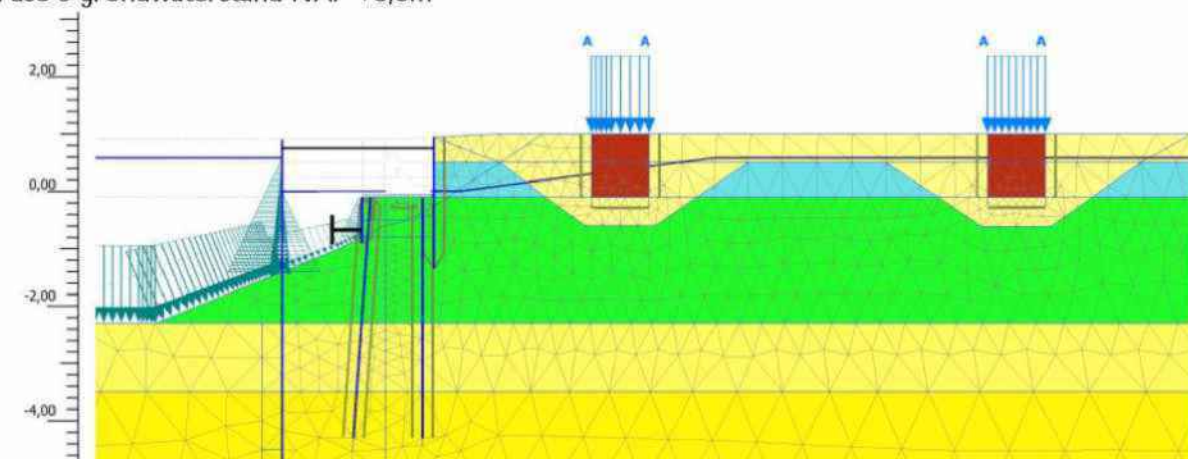
Fase 3 plaatsen stempel / verlagen grondwaterstand tot NAP -1,5m



Fase 4 slopen walmuur tot NAP -0,1m

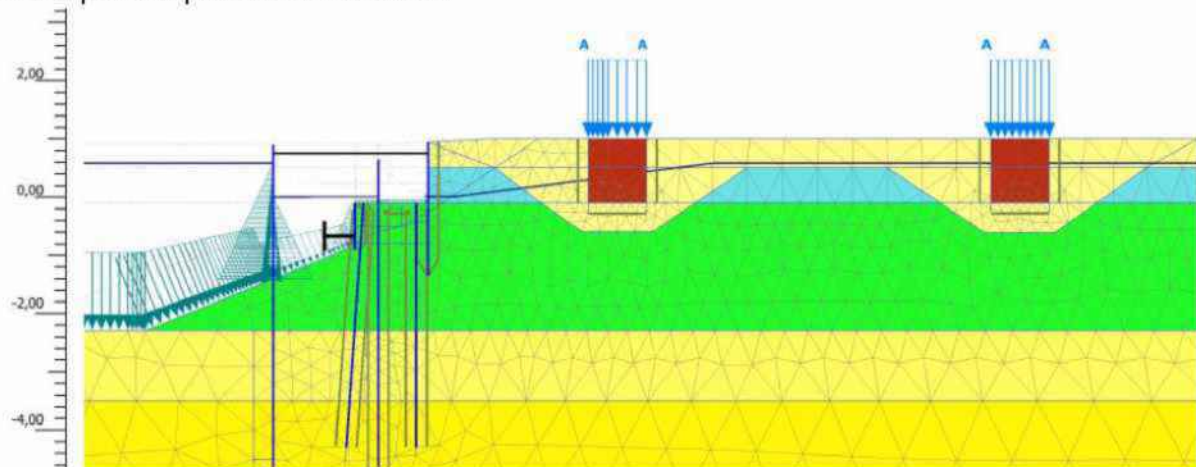


Fase 5 grondwaterstand NAP +0,0m

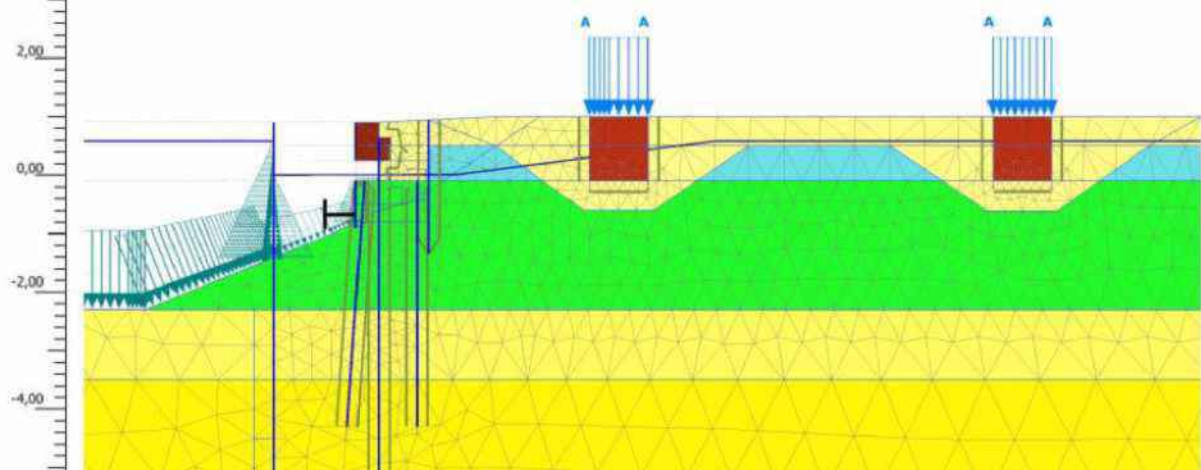




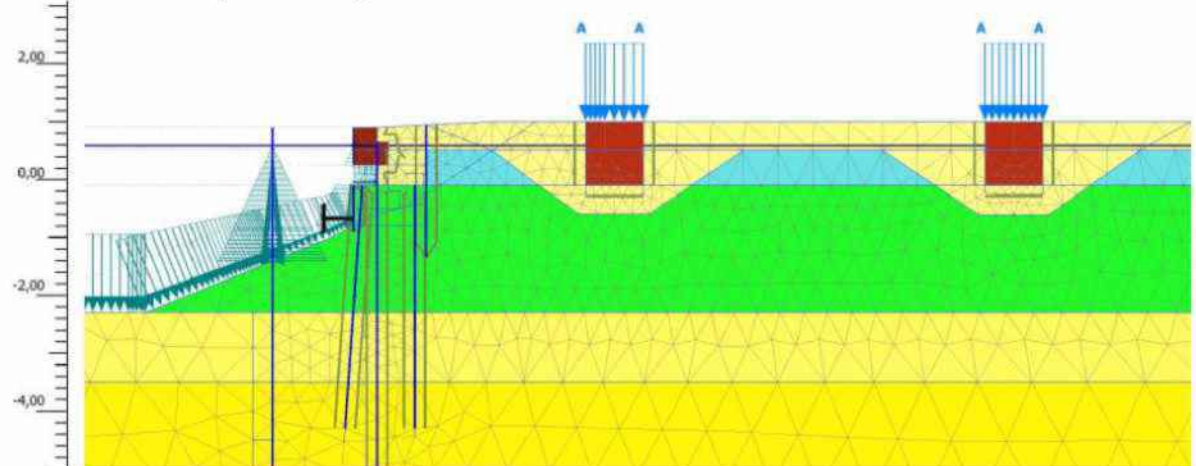
Fase 6 plaatsen permanente damwand

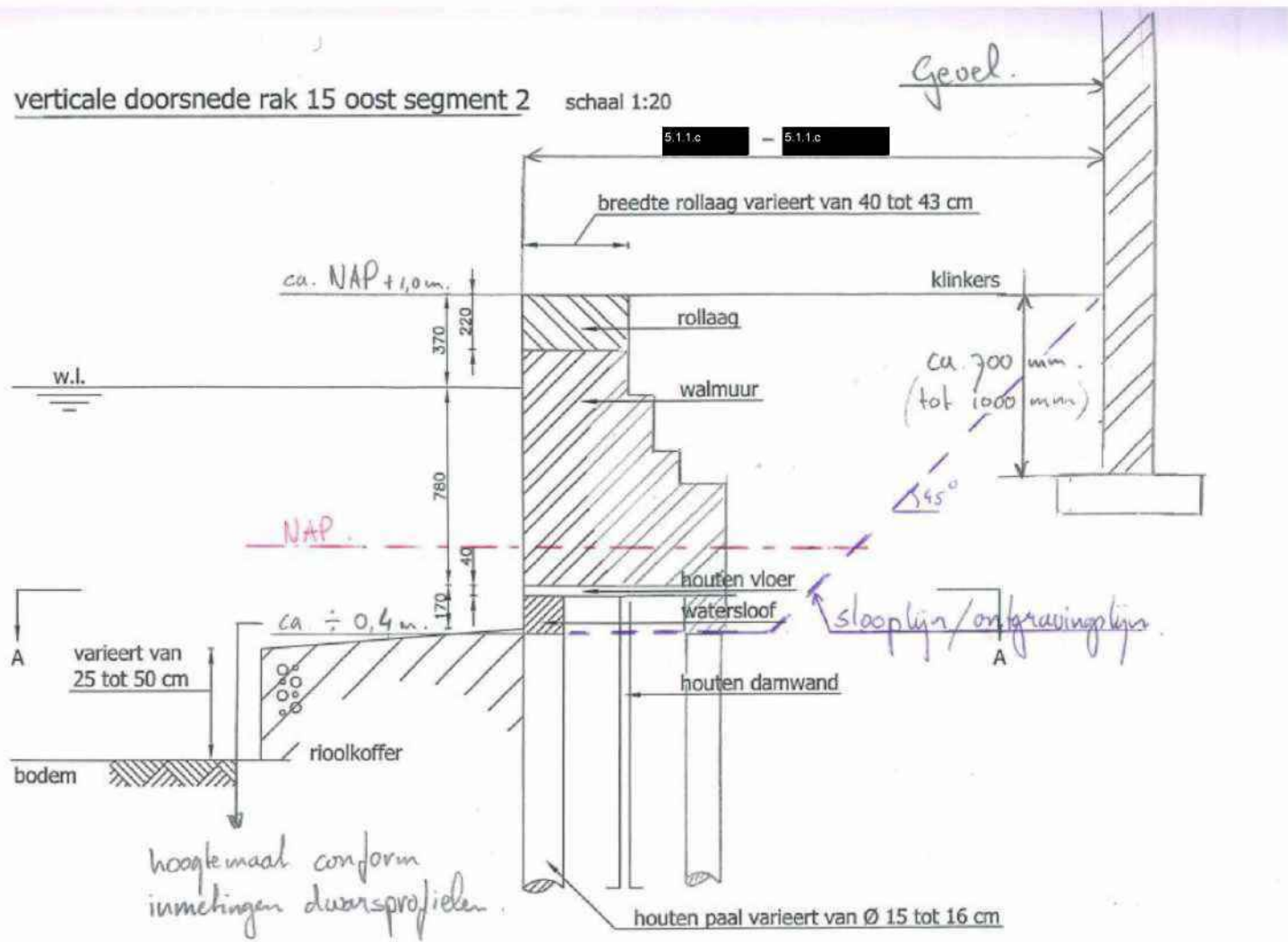


Fase 8 opbouw walmuur / aanvullen achter walmuur



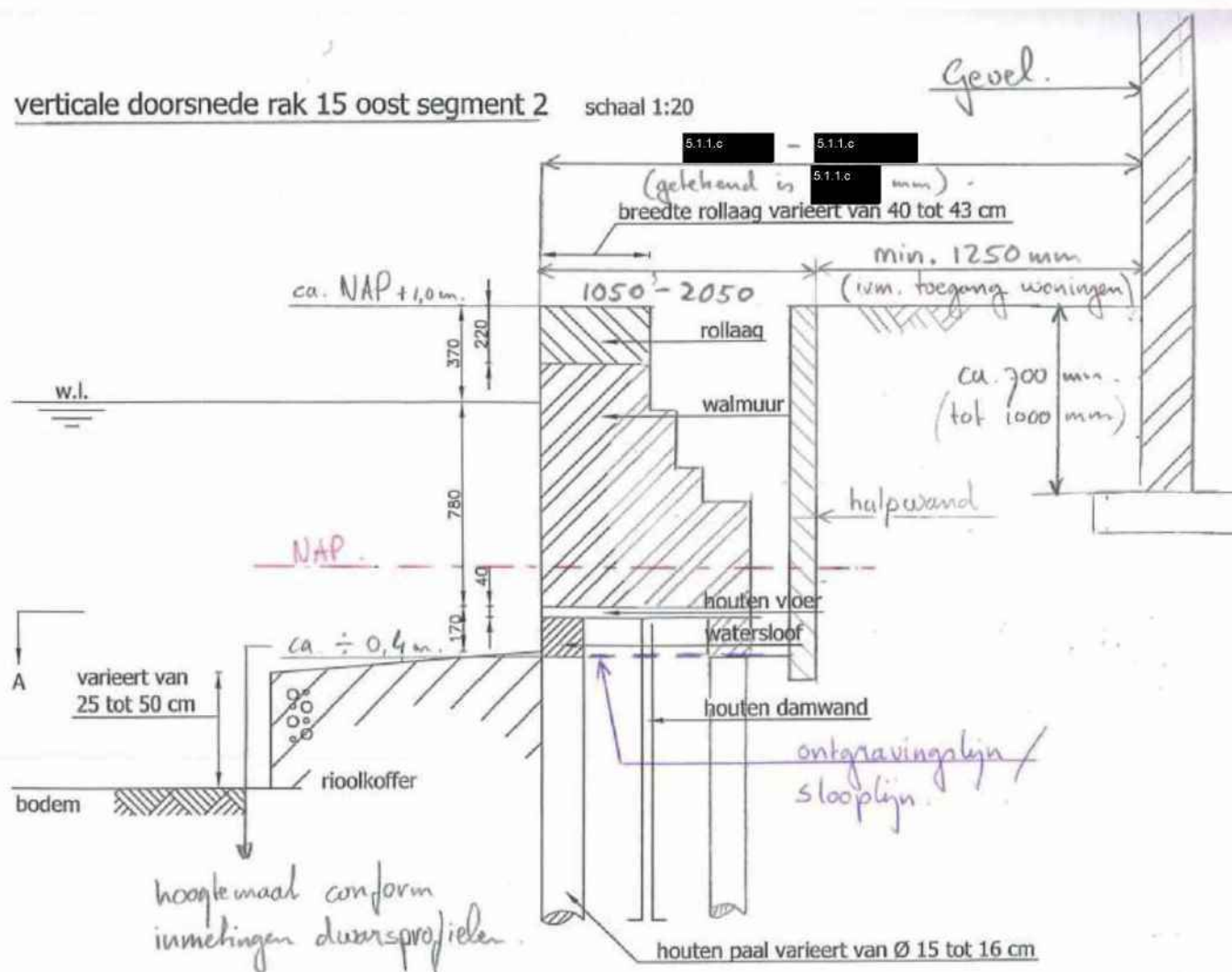
Fase 9 trekken hulpsdamwand gracht






## verticale doorsnede rak 15 oost segment 2

schaal 1:20





Sheet	<b>Reductiefactoren scheve buiging (CUR 166 2005)</b>	
Project	IBU reconstructie walmuren rak 12-15	
Projectnummer	12172	
Fase / onderdeel	RA	
Datum	5-10-2012	
Opsteller	bou	

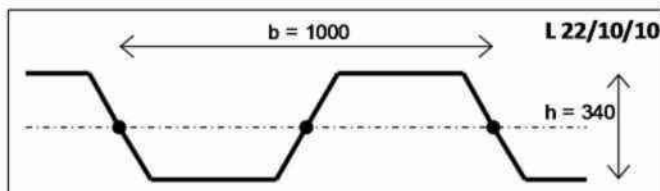
P:\12172 IBU fase 2 rak 15-12\Ext\sh\sh12172b Bepaling reductiefactoren scheve buiging 1.0.xlsm\Berekening

#### Berekening invloed scheve buiging op dubbele planken

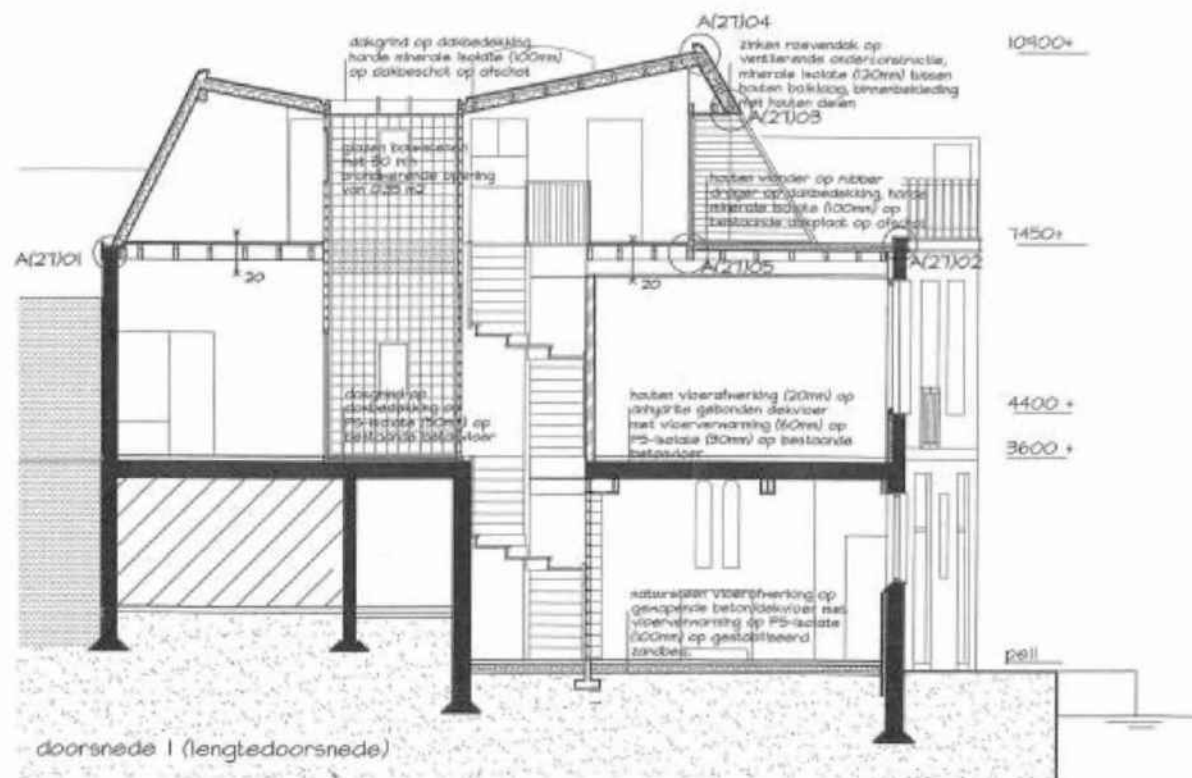
Damwandprofiel	L 22/10/10
Staalkwaliteit, E [kN/m <sup>2</sup> ]	2,10E+08
Plankhoogte, h [mm]	340
Breedte dubbele plank, b [mm]	1000
Verhouding h/b [-]	0,340
Toets $h / b < 0,2$	ONWAAR

Nr	Effect	Maak keuze:	traagheidsmoment	weerstandsmoment
			Bijtelling $\Delta\beta_{D,i}$	Bijtelling $\Delta\beta_{B,i}$
1	Schuifweerstand grond	niet-cohesief $q_c \leq 5 \text{ MPa}$	0,05	0,05
2	Ondersteuning $\perp$ op damwand	geen ondersteuning	0	0
3	Ondersteuning // vlak damwand	geen weerstand	0	0
4	Ondersteuning verticaal	geen weerstand	0	0
5	Installatie	gedrukt of met maatregel	0	0
6	Droge zandlaag tenminste 5m	niet aanwezig	0	0
7	Indien verhouding $h / b < 0,2$	geen overal zand	0	0
Totale bijtelling, $\Sigma\Delta\beta_{D,i}$ resp. $\Sigma\Delta\beta_{B,i}$			0,05	0,05
Minimumwaarde reductiefactor van het profiel, $\beta_{D,0}$ resp. $\beta_{B,0}$			0,59	0,68
Reductiefactor scheve buiging, $\beta_D$ resp. $\beta_B$ (in te voeren in MSheet)			<b>0,64</b>	<b>0,73</b>

Traagheids- en weerstandsmoment, I [cm <sup>4</sup> /m] resp. W [cm <sup>3</sup> /m]	22100	1300
Gereduceerde traagheids- en weerstandsmoment, $I_{corr}$ resp $W_{corr}$	<b>14144</b>	<b>949</b>
Buigstijfheid, EI [kNm <sup>2</sup> /m]	46410	
Gereduceerde buigstijfheid, $EI_{corr}$ [kNm <sup>2</sup> /m]	<b>29702</b>	



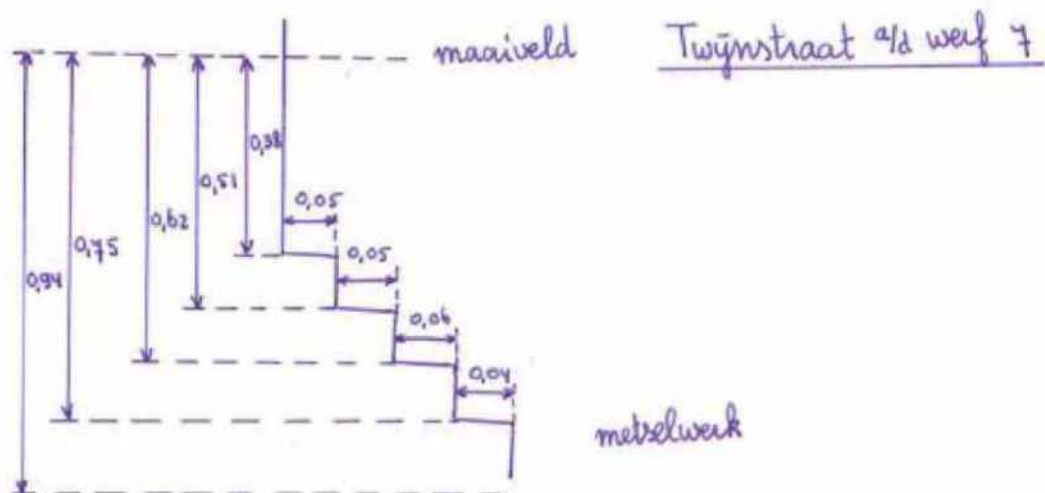
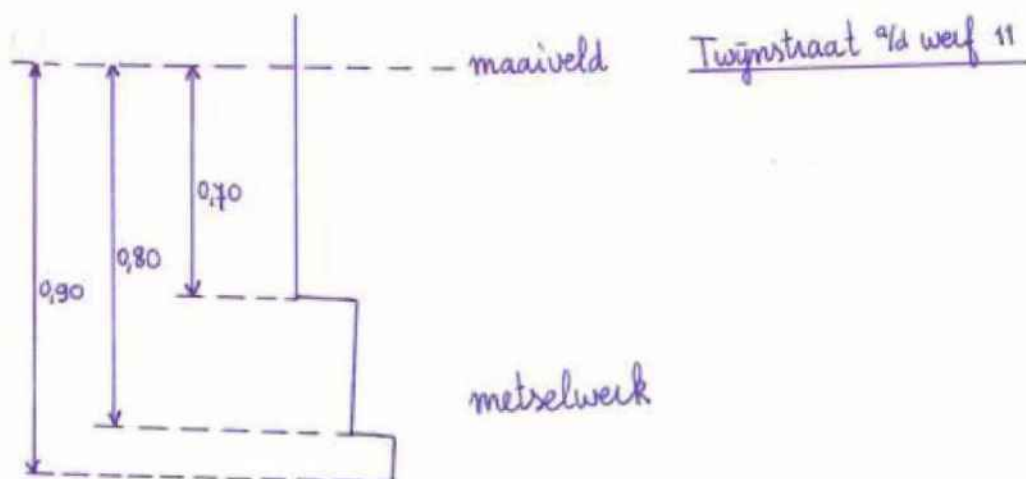
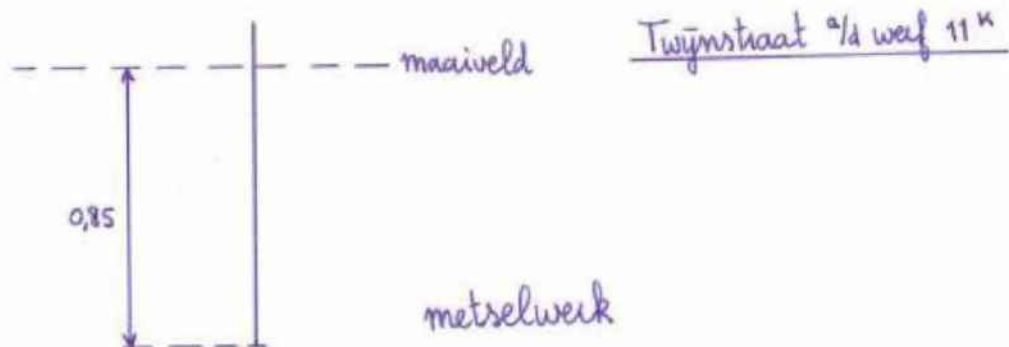
Bijlage VI Type pand Twijnstraat a/d werf [12]



Twijnstraat 9/a weef 7







## Bijlage VII D-Settlement berekening GWS verlagings

Tabel 5.1.2e Gehanteerde bodemopbouw en grondparameters

Naam	bk laag m NAP	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$C_p$ -	$C_p'$ -	$C_s$ -	$C_s'$ -	POP [kPa]
01 Zand	1,0	17	19	1800	600	-	-	-
02 Klei	0,6	16	16	30	10	330	110	30
03 Klei siltig	-0,2	18	18	75	25	960	320	30
04 Zand los	-1,8	17	19	1800	600	-	-	-

Uitgangspunten zettingsberekening:

- Grondwaterstandsverlaging tot NAP -1,5m
- Funderingsbelasting 74 kN/m'
- Funderingsbreedte 1,0m
- Aanlegniveau fundering NAP -0,0m
- Verticale consolidatiecoëfficiënt (cv) van  $1 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s in de slappe lagen

Rapport:

### Report for D-Settlement 9.3

Settlement Calculations  
Developed by Deltares



**CRUX**

Company: CRUX Engineering B.V.

Date of report: 8-12-2012

Time of report: 13:16:53

Date of calculation: 8-12-2012

Time of calculation: 13:16:48

Filename: P:\Geo\_rek\ZET\zet001 12172 s13-9 gws verlaging tot -1,5m

## 1 Table of Contents

1 Table of Contents	2
2 Echo of the Input	3
2.1 Layer Boundaries	3
2.2 PL Lines	3
2.3 General Data	3
2.4 Soil Profiles	3
2.5 Soil Properties	3
2.6 Rectangular Loads	4
2.7 Water Loads	4
2.7.1 Water Load: Water load (1)	4
2.8 Verticals	4
3 Results per Vertical	5
3.1 Results for Vertical 1 (X = 39,62 m; Z = 0,00 m)	5
3.2 Results for Vertical 2 (X = 40,01 m; Z = 0,00 m)	5
3.3 Results for Vertical 3 (X = 40,44 m; Z = 0,00 m)	6
3.4 Results for Vertical 4 (X = 45,21 m; Z = 0,00 m)	7
4 Settlements	9
4.1 Settlements	9
4.2 Residual Times	9
5 Warnings and errors	10



## 2 Echo of the Input

### 2.1 Layer Boundaries

Boundary number	Co-ordinates [m]			
4 - X -	30,000	60,000		
4 - Y -	1,000	1,000		
3 - X -	30,000	60,000		
3 - Y -	0,600	0,600		
2 - X -	30,000	60,000		
2 - Y -	-0,200	-0,200		
1 - X -	30,000	60,000		
1 - Y -	-1,800	-1,800		
0 - X -	30,000	60,000		
0 - Y -	-5,000	-5,000		

### 2.2 PL Lines

PL line number	Co-ordinates [m]			
1 - X -	30,000	60,000		
1 - Y -	0,580	0,580		
2 - X -	30,000	60,000		
2 - Y -	-1,500	-1,500		

### 2.3 General Data

Soil model:	Koppejan
Consolidation model:	Terzaghi
Strain model:	Natural
Groundwater level:	Initial determined by PL-line number 1
Unit weight of water:	9,81 [kN/m³]
Dispersion conditions layer boundaries	
- Top:	drained
- Bottom:	drained
Stress distribution	
- Soil:	Buisman
- Loads:	None
End of consolidation:	10000,00 [days]
No maintain profile	
Pc (initial):	Variable parallel to the initial effective stress
Pc (per step):	Automatic increased to the final effective stresses
No imaginary surface	
With submerging	
(only for non uniform loads)	
- Iteration stop criterium :	0,10 [m]
Load column width	
- Non-Uniform Loads :	1,00 [m]
- Trapezoidal Loads :	1,00 [m]

### 2.4 Soil Profiles

Layer number	Material name	PL-line top	PL-line bottom
4	ZAND top	1	1
3	2 KLEI	1	1
2	3 KLEI siltig	1	1
1	ZAND los	1	1

### 2.5 Soil Properties

Layer number	Drained	Unit weight	
		Unsaturated [kN/m³]	Saturated [kN/m³]

Layer number	Drained	Unit weight	
		Unsaturated [kN/m <sup>3</sup> ]	Saturated [kN/m <sup>3</sup> ]
4	Yes	17,00	19,00
3	No	18,00	18,00
2	No	18,00	18,00
1	Yes	18,00	18,00

Layer number	Vert. consolid. coefficient Cv [m <sup>2</sup> /s]
4	-
3	1,00E-08
2	1,00E-08
1	-

Layer number	Precons. pressure [kN/m <sup>2</sup> ]	POP [kN/m <sup>2</sup> ]	OCR [-]
4	-	200,00	-
3	-	30,00	-
2	-	30,00	-
1	-	200,00	-

Layer number	Primary compr. coeff.		Secular compr. coeff.		Swell constants	
	Cp [-]	Cp' [-]	Cs [-]	Cs' [-]	Ap [-]	As [-]
4	8,00E+02	8,00E+02	1,00E+09	1,00E+09	1,00E+00	1,00E+00
3	3,00E+01	1,00E+01	3,30E+02	1,10E+02	1,00E+00	1,00E+00
2	7,50E+01	2,50E+01	9,60E+02	3,20E+02	1,00E+00	1,00E+00
1	1,80E+03	8,00E+02	1,00E+09	1,00E+09	1,00E+00	1,00E+00

## 2.6 Rectangular Loads

Load number	Time [days]	Magnitude [kN/m <sup>2</sup> ]	Dimension		Center			Shape factor [-]
			Width(x) [m]	Width(z) [m]	X [m]	Y [m]	Z [m]	
1	-1	74,00	1,00	20,00	40,00	-0,20	0,00	0,50

## 2.7 Water Loads

### 2.7.1 Water Load: Water load (1)

Phreatic line 1  
Time [days] 0

Layer number	PL-line top	PL-line bottom
4	2	2
3	2	2
2	2	2
1	1	1

## 2.8 Verticals

Vertical number	X co-ordinates [m]			
1 - 4	39,622	40,009	40,442	45,211

### 3 Results per Vertical

#### 3.1 Results for Vertical 1 (X = 39,62 m; Z = 0,00 m)

Depth [m]	Initial stress			Final stress		
	S-total [kN/m²]	S-water [kN/m²]	S-eff. [kN/m²]	S-total [kN/m²]	S-water [kN/m²]	S-eff. [kN/m²]
Layer 4						
1,00	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
0,90	1,700	0,000	1,700	1,700	0,000	1,700
0,80	3,400	0,000	3,400	3,400	0,000	3,400
0,70	5,100	0,000	5,100	5,100	0,000	5,100
0,60	6,800	0,000	6,800	6,800	0,000	6,800
Layer 3						
0,60	6,800	0,000	6,800	6,800	0,000	6,800
0,58	7,120	0,000	7,120	7,253	0,133	7,120
0,50	8,400	0,785	7,615	8,531	0,131	8,400
0,40	10,000	1,768	8,234	10,125	0,125	10,000
0,30	11,600	2,747	8,853	11,714	0,114	11,600
0,20	13,200	3,728	9,472	13,301	0,101	13,200
0,10	14,800	4,709	10,091	14,885	0,085	14,800
0,00	16,400	5,690	10,710	16,467	0,067	16,400
-0,20	117,020	7,652	109,368	117,077	0,058	117,020
Layer 2						
-0,20	117,020	7,652	109,368	117,078	0,058	117,020
-1,00	74,432	15,500	58,932	74,472	0,040	74,432
-1,50	74,503	20,405	54,098	74,520	0,017	74,503
-1,80	76,044	23,348	52,696	76,044	2,943	73,101
Layer 1						
-1,80	76,044	23,348	52,696	76,044	23,348	52,696
-2,60	83,221	31,198	52,023	83,221	31,198	52,023
-3,40	93,175	39,044	54,131	93,175	39,044	54,131
-4,20	104,641	46,892	57,749	104,641	46,892	57,749
-5,00	116,975	54,740	62,235	116,975	54,740	62,235

Layer number	Swelling		Settlement b. Sp.		Settlement a. Sp.	
	Primary [m]	Secondary [m]	Primary [m]	Secondary 10 [days] [m]	Primary [m]	Secondary 10 [days] [m]
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,0000	0,0000	0,0057	0,0005	0,0000	0,0000
2	0,0000	0,0000	0,0045	0,0004	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Total	0,0000	0,0000	0,0102	0,0009	0,0000	0,0000

Depth From [m]	To [m]	Layer number	Total settlement (100% cons.)			Percentage of original layer height [%]
			Primary [m]	Secondary 10 [days] [m]	After 10000 [days] [m]	
1,00	0,60	4	0,0000	0,0000	0,0000	0,00
0,60	-0,20	3	0,0057	0,0005	0,0077	0,98
-0,20	-1,80	2	0,0045	0,0004	0,0059	0,37
-1,80	-5,00	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,00
Total			0,0102	0,0009	0,0136	

#### 3.2 Results for Vertical 2 (X = 40,01 m; Z = 0,00 m)



Depth [m]	Initial stress			Final stress		
	S-total [kN/m²]	S-water [kN/m²]	S-eff. [kN/m²]	S-total [kN/m²]	S-water [kN/m²]	S-eff. [kN/m²]
Layer 4						
1,00	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
0,90	1,700	0,000	1,700	1,700	0,000	1,700
0,80	3,400	0,000	3,400	3,400	0,000	3,400
0,70	5,100	0,000	5,100	5,100	0,000	5,100
0,60	6,800	0,000	6,800	6,800	0,000	6,800
Layer 3						
0,60	6,800	0,000	6,800	6,800	0,000	6,800
0,58	7,120	0,000	7,120	7,267	0,147	7,120
0,50	8,400	0,785	7,615	8,545	0,145	8,400
0,40	10,000	1,768	8,234	10,138	0,138	10,000
0,30	11,600	2,747	8,853	11,728	0,128	11,600
0,20	13,200	3,728	9,472	13,315	0,115	13,200
0,10	14,800	4,709	10,091	14,899	0,099	14,800
0,00	16,400	5,690	10,710	16,481	0,081	16,400
-0,20	56,634	7,652	48,982	56,697	0,063	56,634
Layer 2						
-0,20	56,634	7,652	48,983	56,697	0,063	56,634
-1,00	80,812	15,500	65,312	80,850	0,038	80,812
-1,50	78,610	20,405	58,205	78,626	0,016	78,610
-1,80	78,844	23,348	55,496	78,844	2,343	75,901
Layer 1						
-1,80	78,844	23,348	55,496	78,844	23,348	55,496
-2,80	84,319	31,196	53,123	84,319	31,196	53,123
-3,40	93,689	39,044	54,645	93,689	39,044	54,645
-4,20	104,918	46,892	58,026	104,918	46,892	58,026
-5,00	117,139	54,740	62,400	117,139	54,740	62,400

Layer number	Swelling		Settlement b. Sp.		Settlement a. Sp.	
	Primary [m]	Secondary [m]	Primary [m]	Secondary 10 [days] [m]	Primary [m]	Secondary 10 [days] [m]
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,0000	0,0000	0,0063	0,0006	0,0000	0,0000
2	0,0000	0,0000	0,0049	0,0004	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Total	0,0000	0,0000	0,0112	0,0010	0,0000	0,0000

Depth From [m]	To [m]	Layer number	Total settlement (100% cons.)			Percentage of original layer height [%]
			Primary [m]	Secondary 10 [days] [m]	After 10000 [days] [m]	
1,00	0,60	4	0,0000	0,0000	0,0000	0,00
0,60	-0,20	3	0,0063	0,0006	0,0068	1,07
-0,20	-1,80	2	0,0049	0,0004	0,0054	0,40
-1,80	-5,00	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,00
Total			0,0112	0,0010	0,0150	

### 3.3 Results for Vertical 3 (X = 40,44 m; Z = 0,00 m)

Depth [m]	Initial stress			Final stress		
	S-total [kN/m²]	S-water [kN/m²]	S-eff. [kN/m²]	S-total [kN/m²]	S-water [kN/m²]	S-eff. [kN/m²]
Layer 4						
1,00	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
0,90	1,700	0,000	1,700	1,700	0,000	1,700
0,80	3,400	0,000	3,400	3,400	0,000	3,400
0,70	5,100	0,000	5,100	5,100	0,000	5,100
0,60	6,800	0,000	6,800	6,800	0,000	6,800
Layer 3						

Depth [m]	Initial stress			Final stress		
	S-total [kN/m²]	S-water [kN/m²]	S-eff. [kN/m²]	S-total [kN/m²]	S-water [kN/m²]	S-eff. [kN/m²]
0,60	6,800	0,000	6,800	6,800	0,000	6,800
0,58	7,120	0,000	7,120	7,251	0,131	7,120
0,50	8,400	0,785	7,615	8,529	0,129	8,400
0,40	10,000	1,768	8,234	10,123	0,123	10,000
0,30	11,600	2,747	8,853	11,712	0,112	11,600
0,20	13,200	3,728	9,472	13,299	0,099	13,200
0,10	14,800	4,709	10,091	14,883	0,083	14,800
0,00	16,400	5,690	10,710	16,465	0,065	16,400
-0,20	139,211	7,652	131,559	139,268	0,057	139,211
Layer 2						
-0,20	139,211	7,652	131,559	139,268	0,057	139,211
-1,00	71,707	15,600	56,207	71,748	0,041	71,707
-1,50	73,094	20,405	52,689	73,111	0,017	73,094
-1,80	75,084	23,348	51,736	75,084	2,943	72,141
Layer 1						
-1,80	75,084	23,348	51,736	75,084	23,348	51,736
-2,60	82,836	31,198	51,640	82,836	31,198	51,640
-3,40	92,992	39,044	53,948	92,992	39,044	53,948
-4,20	104,541	46,892	57,649	104,541	46,892	57,649
-5,00	116,915	54,740	62,175	116,915	54,740	62,175

Layer number	Swelling		Settlement b. Sp.		Settlement a. Sp.	
	Primary [m]	Secondary [m]	Primary [m]	Secondary 10 [days] [m]	Primary [m]	Secondary 10 [days] [m]
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,0000	0,0000	0,0058	0,0005	0,0000	0,0000
2	0,0000	0,0000	0,0045	0,0003	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Total	0,0000	0,0000	0,0100	0,0009	0,0000	0,0000

Depth From [m]	To [m]	Layer number	Total settlement (100% cons.)			Percentage of original layer height [%]
			Primary [m]	Secondary 10 [days] [m]	After 10000 [days] [m]	
1,00	0,60	4	0,0000	0,0000	0,0000	0,00
0,60	-0,20	3	0,0058	0,0005	0,0075	0,94
-0,20	-1,80	2	0,0045	0,0003	0,0058	0,37
-1,80	-5,00	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,00
Total			0,0100	0,0009	0,0134	

### 3.4 Results for Vertical 4 (X = 45,21 m; Z = 0,00 m)

Depth [m]	Initial stress			Final stress		
	S-total [kN/m²]	S-water [kN/m²]	S-eff. [kN/m²]	S-total [kN/m²]	S-water [kN/m²]	S-eff. [kN/m²]
Layer 4						
1,00	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
0,90	1,700	0,000	1,700	1,700	0,000	1,700
0,80	3,400	0,000	3,400	3,400	0,000	3,400
0,70	5,100	0,000	5,100	5,100	0,000	5,100
0,60	6,800	0,000	6,800	6,873	0,073	6,800
Layer 3						
0,60	6,800	0,000	6,800	6,873	0,073	6,800
0,58	7,120	0,000	7,120	7,389	0,269	7,120
0,50	8,400	0,785	7,615	8,688	0,268	8,400
0,40	10,000	1,768	8,234	10,281	0,281	10,000
0,30	11,600	2,747	8,853	11,851	0,251	11,600
0,20	13,200	3,728	9,472	13,437	0,237	13,200
0,10	14,800	4,709	10,091	15,021	0,221	14,800
0,00	16,400	5,690	10,710	16,603	0,203	16,400

Depth [m]	Initial stress			Final stress		
	S-total [kN/m²]	S-water [kN/m²]	S-eff. [kN/m²]	S-total [kN/m²]	S-water [kN/m²]	S-eff. [kN/m²]
-0,20	19,600	7,652	11,948	19,762	0,162	19,600
Layer 2						
-0,20	19,600	7,652	11,948	19,763	0,162	19,600
-1,00	34,008	15,500	18,508	34,091	0,085	34,008
-1,50	43,037	20,405	22,632	43,068	0,032	43,037
-1,80	48,478	23,348	25,130	48,478	2,943	45,535
Layer 1						
-1,80	48,478	23,348	25,130	48,478	23,348	25,130
-2,60	63,100	31,198	31,904	63,100	31,198	31,904
-3,40	77,881	39,044	38,837	77,881	39,044	38,837
-4,20	92,747	46,892	45,855	92,747	46,892	45,855
-5,00	107,611	54,740	52,871	107,611	54,740	52,871

Layer number	Swelling		Settlement b. Sp.		Settlement a. Sp.	
	Primary [m]	Secondary [m]	Primary [m]	Secondary 10 [days] [m]	Primary [m]	Secondary 10 [days] [m]
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,0000	0,0000	0,0081	0,0007	0,0000	0,0000
2	0,0000	0,0000	0,0127	0,0010	0,0000	0,0000
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Total	0,0000	0,0000	0,0207	0,0017	0,0000	0,0000

Depth		Layer number	Total settlement (100% cons.)			Percentage of original layer height [%]
From [m]	To [m]		Primary [m]	Secondary 10 [days] [m]	After 10000 [days] [m]	
1,00	0,60	4	0,0000	0,0000	0,0000	0,00
0,60	-0,20	3	0,0081	0,0007	0,0109	1,36
-0,20	-1,80	2	0,0127	0,0010	0,0166	1,04
-1,80	-5,00	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,00
Total			0,0207	0,0017	0,0275	

## 4 Settlements

### 4.1 Settlements

Vertical number	X co-ordinate [m]	Z co-ordinate [m]	Surface level [m]	Settlement [m]
1	39.62	0.00	1.00	0.014
2	40.01	0.00	1.00	0.015
3	40.44	0.00	1.00	0.013
4	45.21	0.00	1.00	0.027

De berekende zettingen zijn op maaiveldniveau. De in §3.6 gepresenteerde resultaten zijn op funderingsniveau (circa NAP +0,0m) en derhalve afwijkend van deze waarden

### 4.2 Residual Times

Vertical number	Time [days]	Settlement [m]	Part of final settlement [%]	Residual settlements [m]
1	60	0.012	85.959	0.002
2	60	0.013	85.950	0.002
3	60	0.012	85.983	0.002
4	60	0.024	86.247	0.004



## 5 Warnings and errors

List of non-fatal warnings and errors generated during calculation.

- 1 D-Settlement will incorporate submerging as a one-off load reduction at time zero, due to the limitations of the Terzaghi model. **5.1.2.a** the **5.1.2.e** model for a gradual weight reduction of soil and loading during submerging
- 2 The Terzaghi model uses one consolidation coefficient for loading/unloading. This can underestimate residual settlements after unloading. Switch to **5.1.2.e** for, more accurate calculations of the consolidation stage.

## End of Report



doorsnede	variant	walmuur	werfmuur/woning	PLAXIS				PLAXIS + installatie effect				bandbreedte pandeigenschappen						zonder trekken damwanden				met trekken damwanden				zonder trekken damwanden				met trekken damwanden				
				zonder trekken hulpdamwand	met trekken hulpdamwand		zonder trekken hulpdamwand		met trekken hulpdamwand		lengte pand		hoogte pand		L/H verhouding		diagonale hoekverdraaiing		horizontale rek		relatieve hoekverdraaiing		horizontale rek		diagonale rek uit relatieve hoekverdraaiing		diagonale rek en horizontale rek uit angular distortion		diagonale rek uit relatieve hoekverdraaiing		diagonale rek en horizontale rek uit angular distortion			
[-]	[-]	[-]	[-]	Uy* [mm]	Ux [mm]	Uy [mm]	Ux [mm]	Uy* [mm]	Ux [mm]	Uy [mm]	Ux [mm]	BG [mm]	OG [mm]	BG [mm]	OG [mm]	BG [mm]	OG [mm]	BG [1/...]	OG [1/...]	BG [%]	OG [%]	BG [1/...]	OG [1/...]	BG [%]	OG [%]	BG [-]	OG [-]	BG [%]	OG [%]	BG [-]	OG [-]	BG[%]	OG[%]	
Drsn 1 – walmuur op 3.5m afstand	1-hoog	referentieoplossing	geen maatregelen	-1	1	-11	6	-2	1	-12	6	7000	8000	4000	3500	1,75	2,29	3500	4000	0,014%	0,013%	583	667	0,088%	0,075%	0,000131	0,000086	0,022%	0,018%	0,000783	0,000576	0,132%	0,106%	
	1-laag			-1	1	-12	7	-2	1	-13	7							3500	4000	0,014%	0,013%	538	615	0,100%	0,088%	0,000131	0,000086	0,022%	0,018%	0,000848	0,000624	0,148%	0,120%	
Drsn 2 – 5.1.2.e	1-hoog	referentieoplossing	geen maatregelen (hulpwand tot NAP -1.3m)	-2	1			-6	1			7500		4000		1,88		1250		0,013%						0,000351		0,042%						
Drsn 3 – 'Brouwerij'	1-hoog																																	
Drsn 4 – Tweijstraat a/d werf	1-laag	referentieoplossing	geen maatregelen - funderingsbelasting 63 kN/m² BGT op 2,5m van voorzijde walmuur	-10,5	4,5			-13,5	4,5			9000	10000	9000	6000	1,00	1,67	667	741	0,050%	0,045%					0,000837	0,000633	0,112%	0,090%					
	3-laag	referentieoplossing	geen maatregelen - funderingsbelasting 52 kN/m² BGT op 3,0m van voorzijde walmuur	-4	1,5			-6	1,5			9000	10000	9000	6000	1,00	1,67	1500	1667	0,017%	0,015%					0,000372	0,000281	0,046%	0,037%					





(1)

$$\beta = 1/1250 ; L/H = 1,08$$

$$E_s = 2,6 ; \alpha_s = 1,2 ; E_h = \frac{f_{tmax}}{f_{500mm}} = 0,013\%$$

hogging zone (neutrale as aan de onderkant verondersteld)

→ Bepaling diagonale rek met  $\beta$ :

formule (3.17) uit [1]:

$$E_{d,max} = \begin{pmatrix} 1/1250 \\ \frac{1}{2,2} \end{pmatrix} \cdot \left[ \frac{3 \cdot 2,6}{\frac{1}{2} (1,88)^2 + 2 \cdot 1,2 \cdot 2,6} \right]$$

input formule uit 3.17 is  $\left(\frac{\Delta}{L}\right)$ ; input hier uit zetting voor speling is  $\beta = 1/1250$ ; relatie  $\frac{\beta}{L}$  is voor behrmodel te bepalen met "figure 3.20."

Let op: J.p.v. de daarverhelfte  $\frac{L}{H}$  met in de "figure 3.20"  $\frac{L}{(2H)}$  worden genomen. Dit i.v.m. aanname van ligging van neutrale as voor hogging zone, zodat fictief balk 2H is  $\Rightarrow \frac{\beta}{(L/2)} = 2,6$

$$E_{d, \max} = 0,035\%$$

Totaalrek uit combinatie van 5.1.1.c horizontale  
en diagonale rek: formule (3.7):

$$\begin{aligned} E_{dt} &= 0,5 \cdot E_h + \sqrt{0,25 \cdot E_h^2 + E_d^2} \\ &= 0,5 \cdot 0,00013 + \sqrt{0,25 \cdot (0,00013)^2 + 0,00035^2} \\ &= 0,042\% \end{aligned}$$

[1] Building Response  
due to ground movements

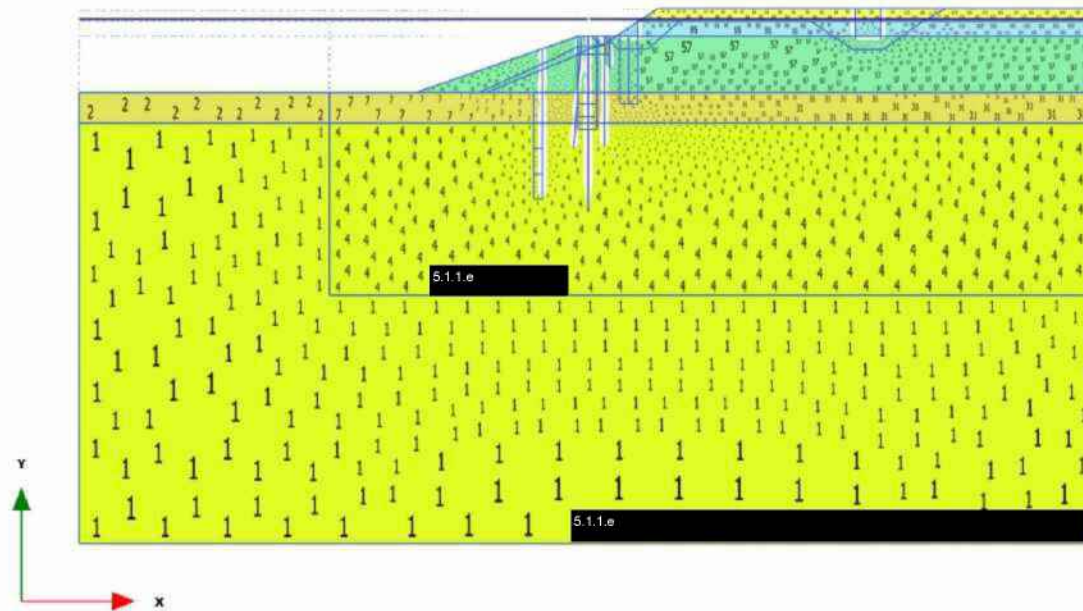


plx007 walmuur rak 13\_hoog gefundeerd\_OG320\_geen maatreg

# PLAXIS Report

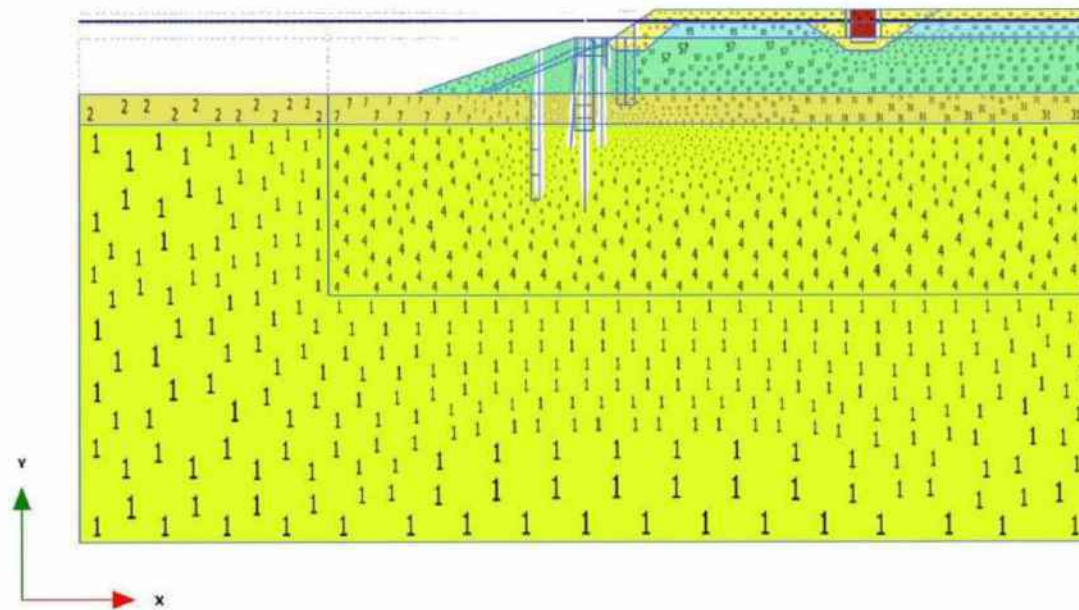


### 1.1.1.1 Calculation results, Init talud (1/20), Connectivity plot



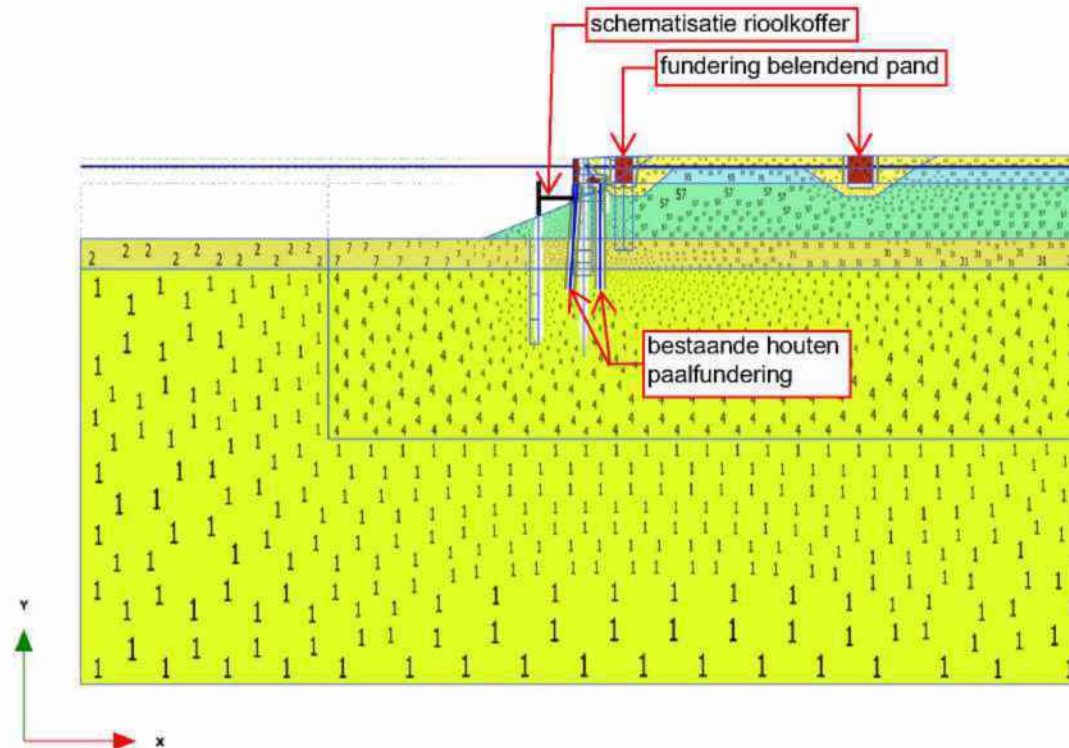
Connectivity plot

### 1.1.1.2 Calculation results, Init werfmuur (16/55), Connectivity plot



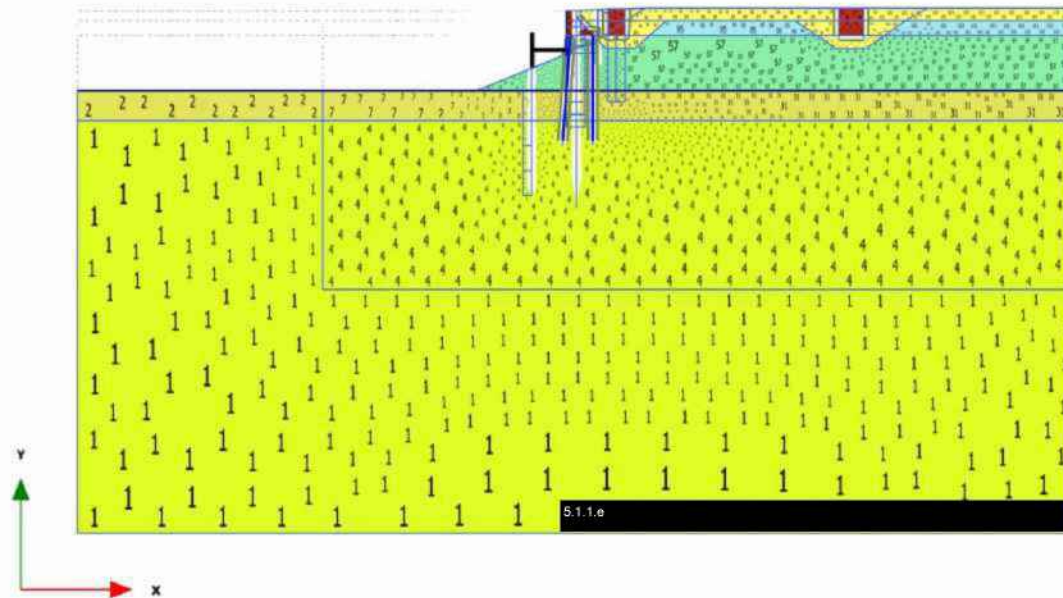
Connectivity plot

### 1.1.1.3 Calculation results, Init aanvullen achter walmuur (6/84), Connectivity plot



Connectivity plot

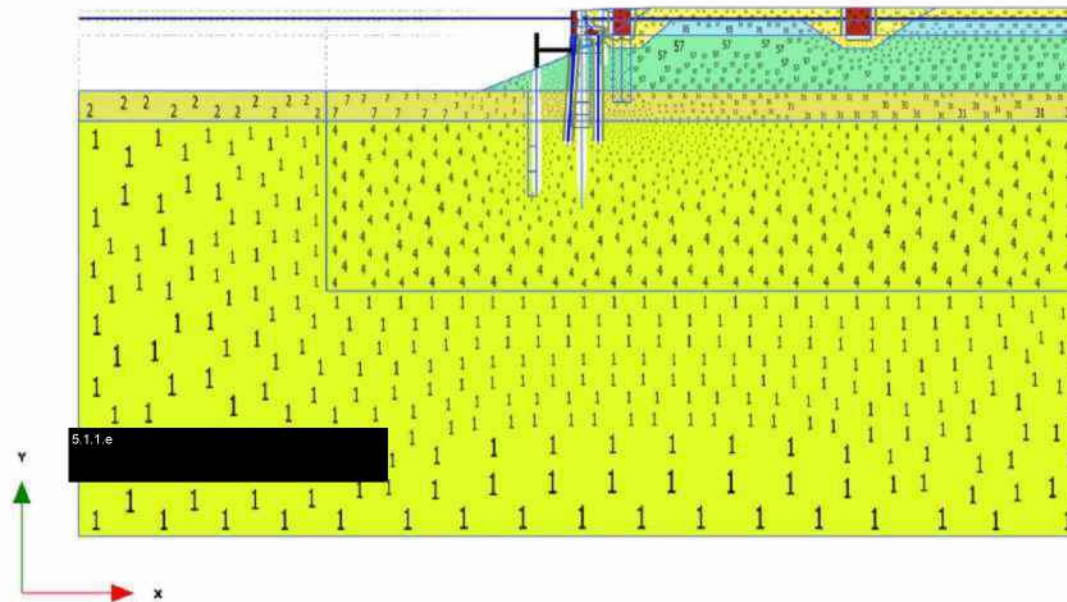
#### 1.1.1.4 Calculation results, Init verlagen gws NAP -2,3m (aanleg riool) (7/104), Connectivity plot



Connectivity plot



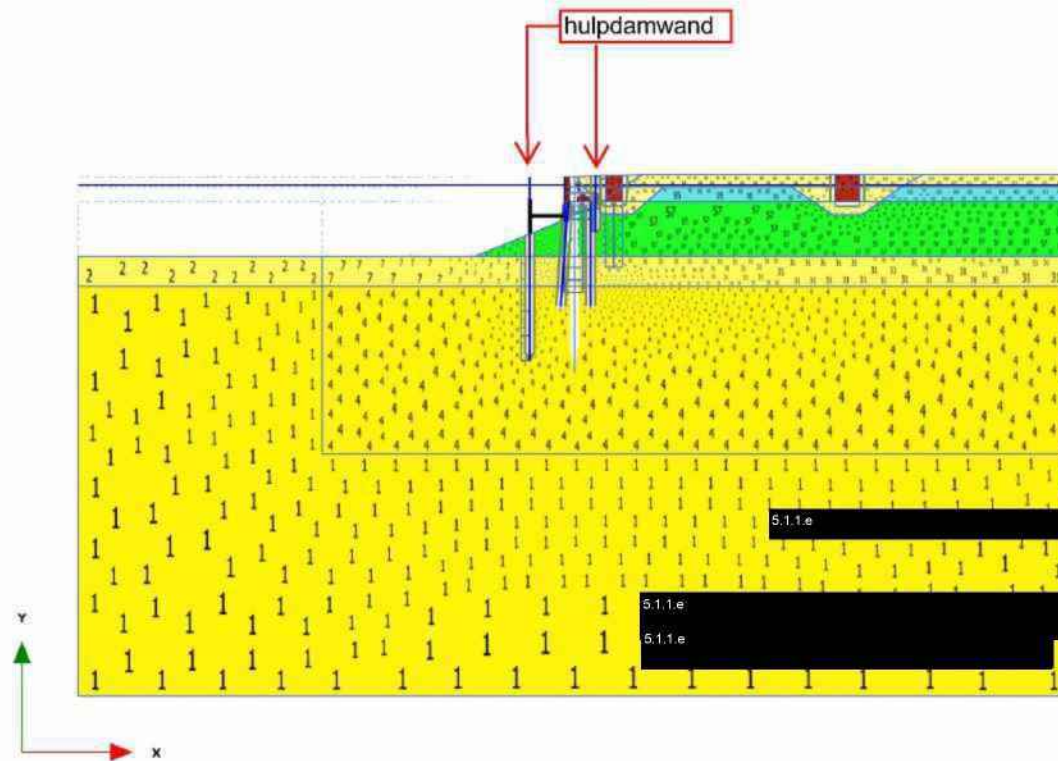
### 1.1.1.5 Calculation results, Init verhogen gws NAP +0,58m (8/110), Connectivity plot



Connectivity plot

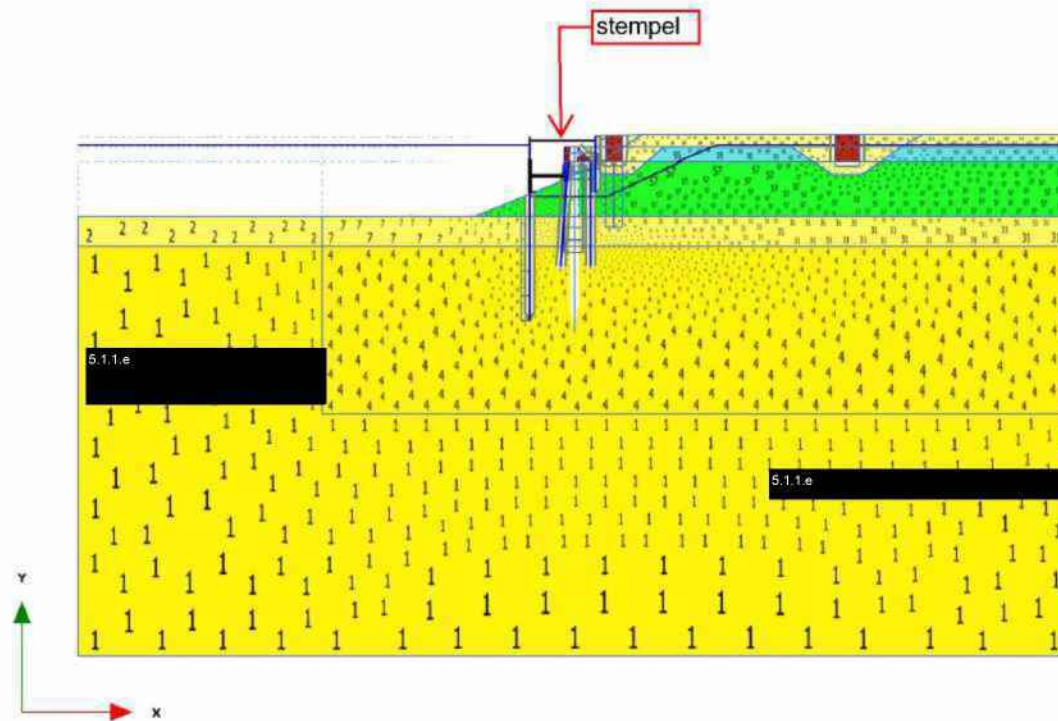
### 1.1.1.6 Calculation results, 1 Plaatsen hulpdamwanden Connectivity plot

(10/116),



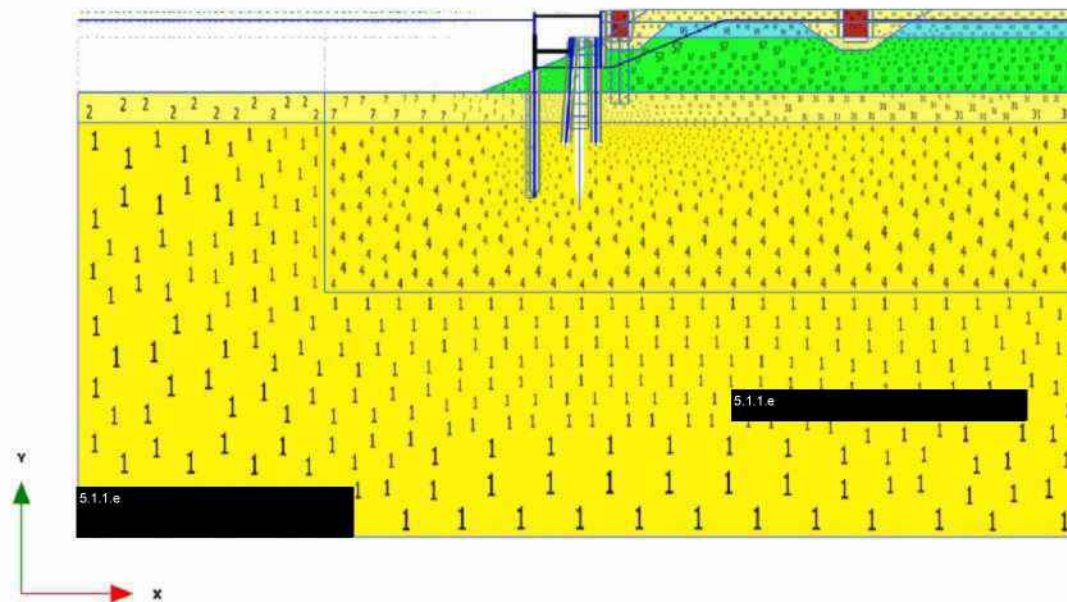
Connectivity plot

### 1.1.1.7 Calculation results, 3 Plaatsen stempel + verlagen gws tot NAP -1,5m (12/130), Connectivity plot



Connectivity plot

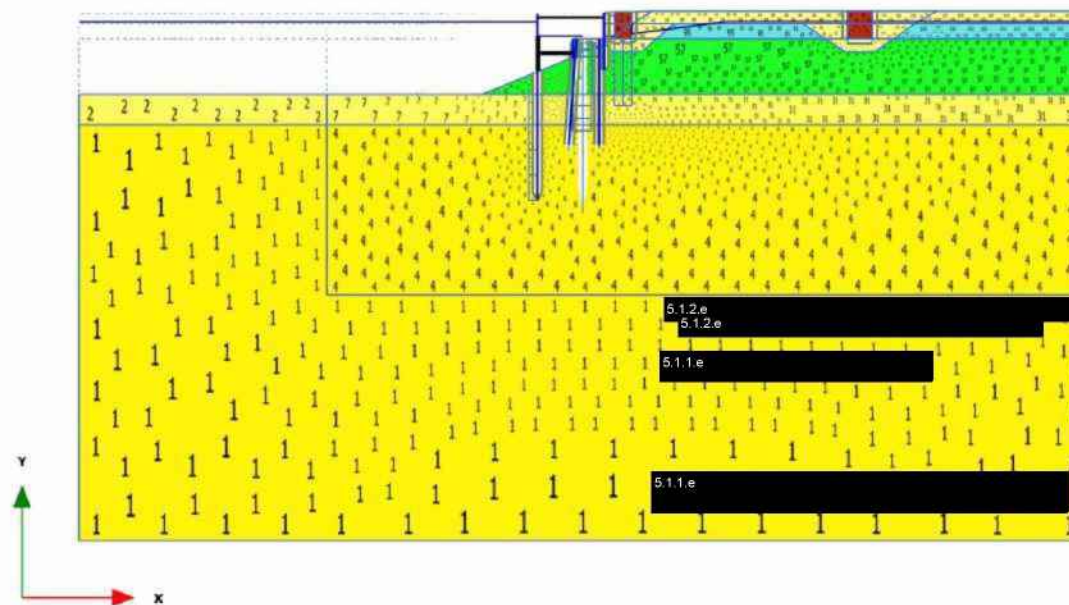
### 1.1.1.8 Calculation results, 4 Slopen walmuur tot NAP -0,8m (13/134), Connectivity plot



Connectivity plot



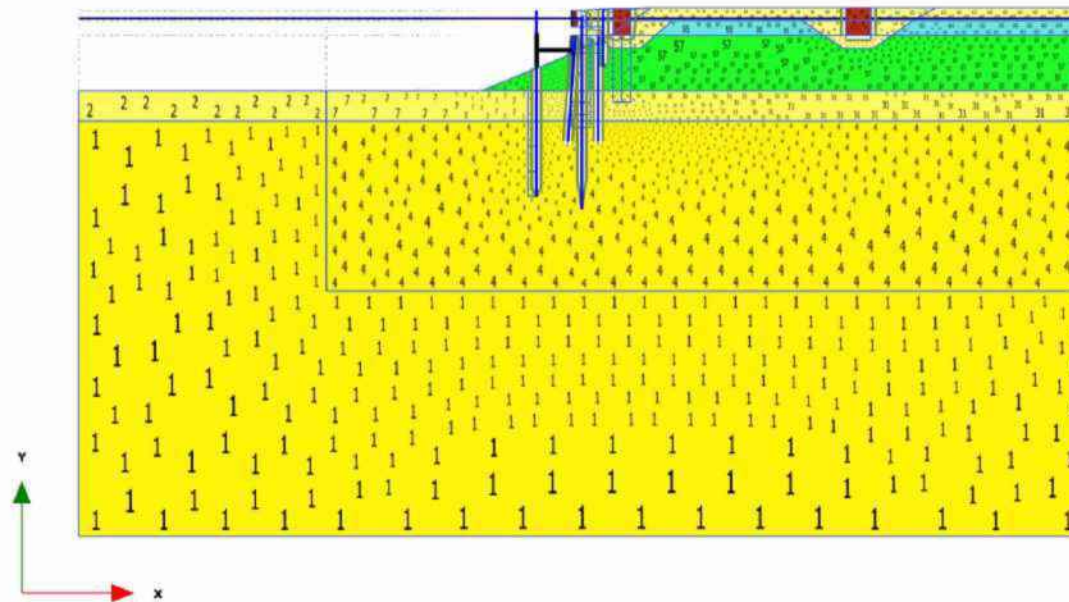
### 1.1.1.9 Calculation results, 5 Waterstand NAP +0,0m (14/140), Connectivity plot



Connectivity plot



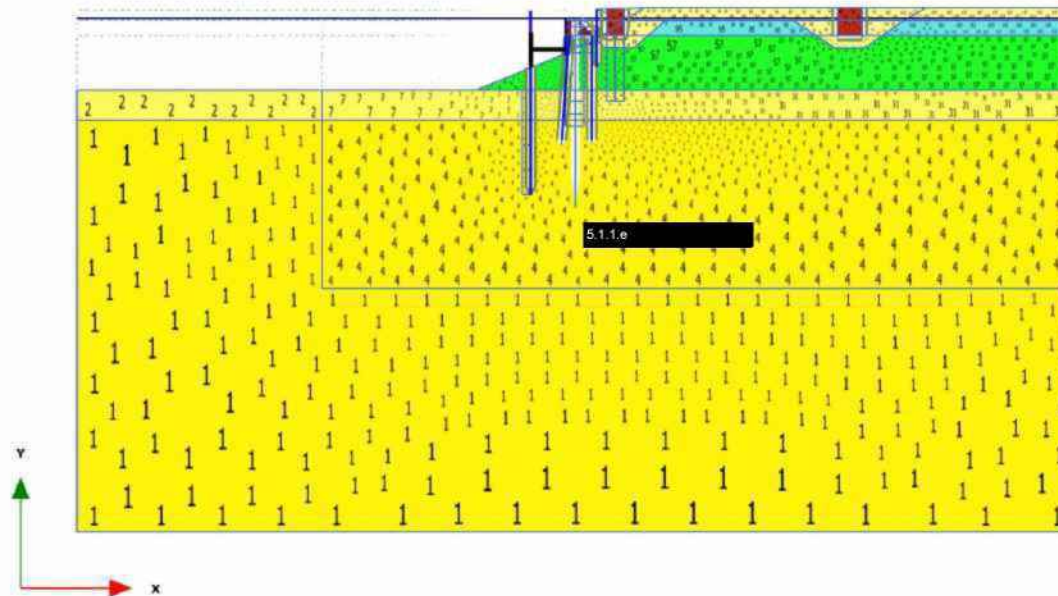
### 1.1.1.11 Calculation results, 9 verhogen ws NAP +0,58m (23/155), Connectivity plot



**Connectivity plot**

### 1.1.1.12 Calculation results, 2 Slopen walmuur t.b.v. plaatsen stempel (11/195), Connectivity plot

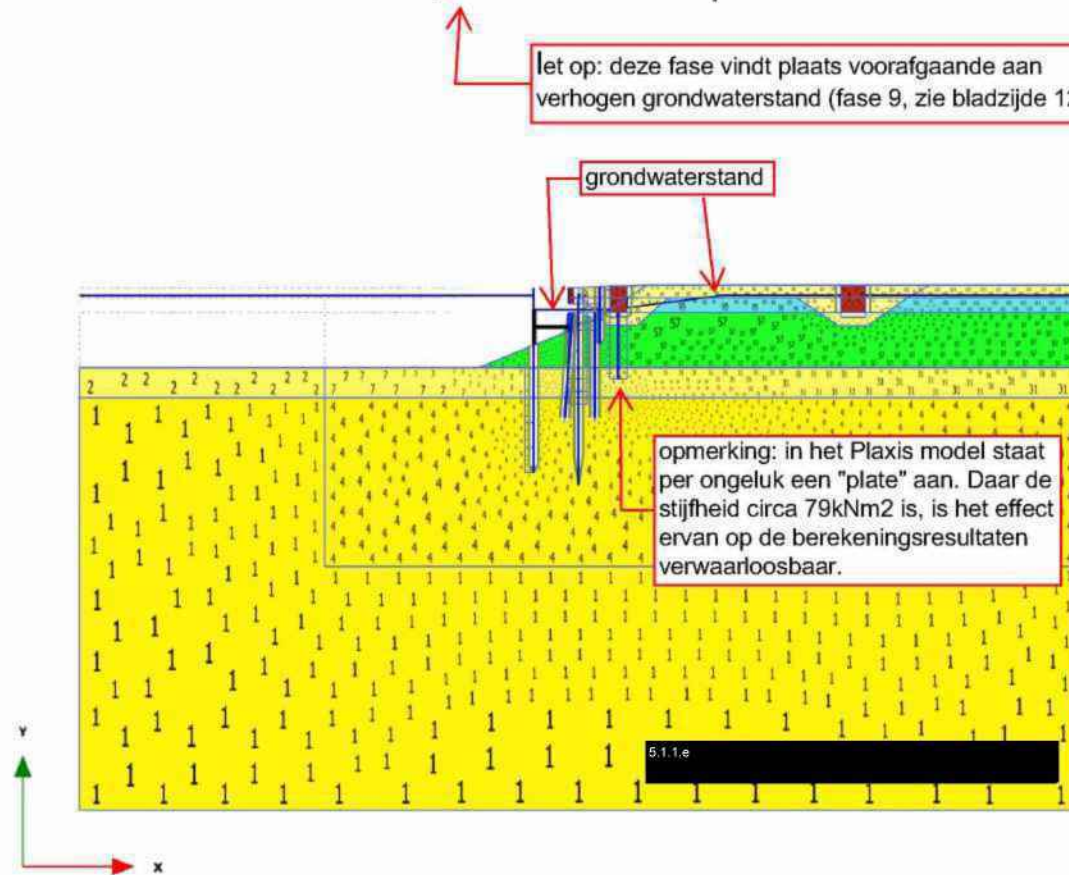
let op: deze fase vindt plaats voorafgaande aan  
aanbrengen stempel (fase 3, zie bladzijde 8)



Connectivity plot

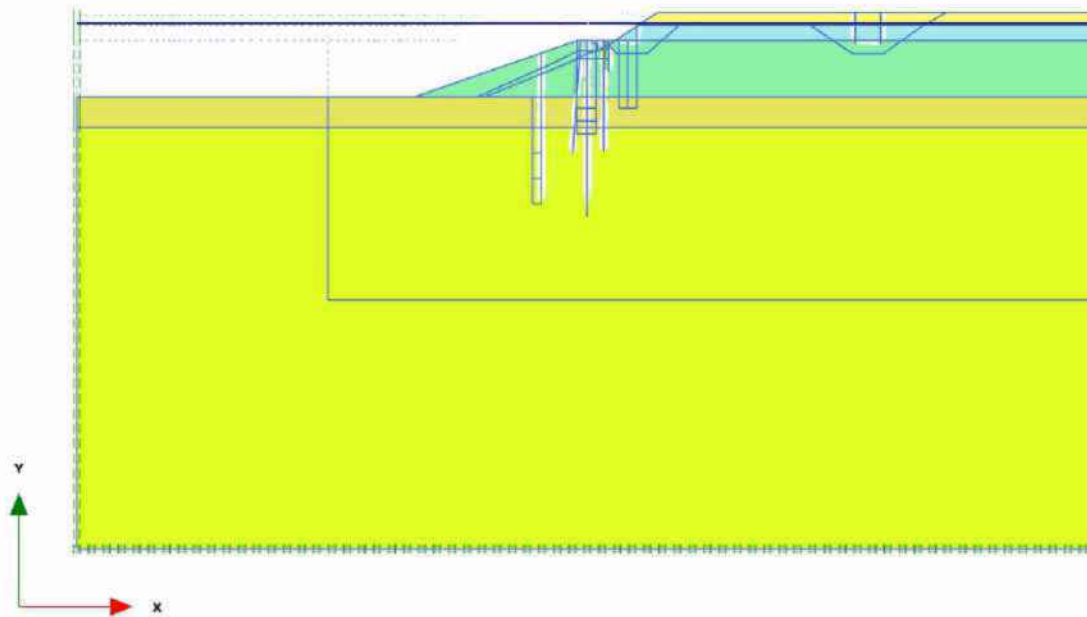


### 1.1.1.13 Calculation results, 8 realisatie opstort beton + aanvullen (25/441), Connectivity plot



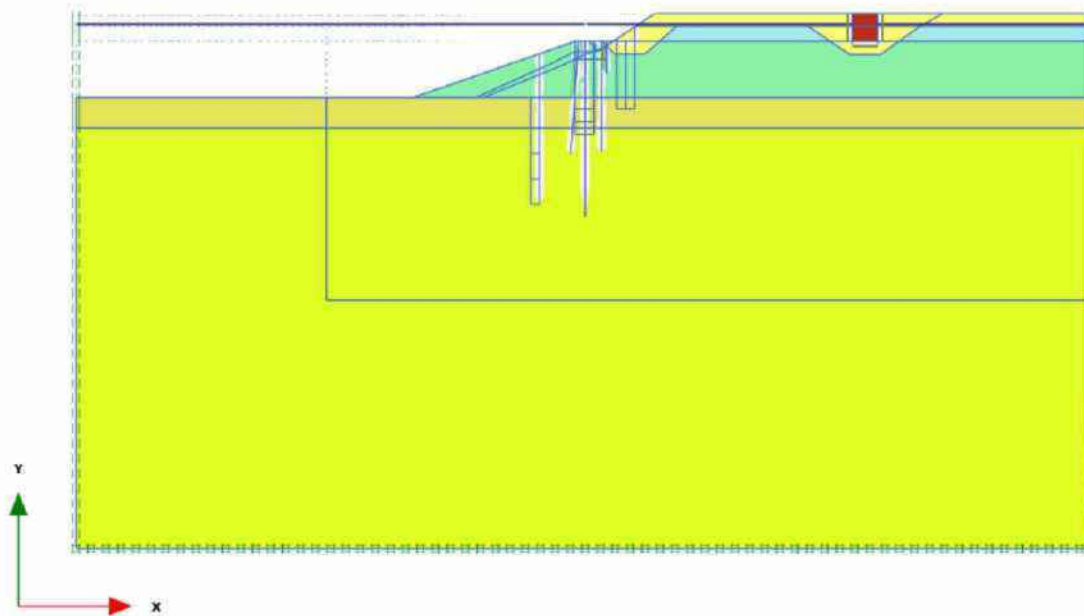
Connectivity plot

### 1.1.2.1 Calculation results, Init talud (1/20), Fixities plot



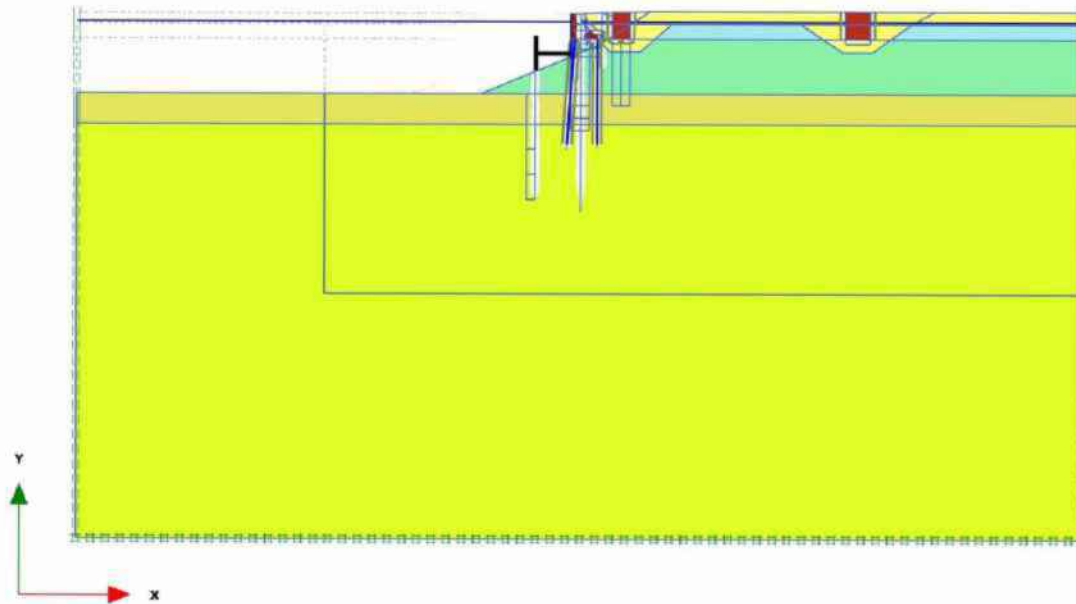
**Fixities plot**

### 1.1.2.2 Calculation results, Init werfmuur (16/55), Fixities plot



**Fixities plot**

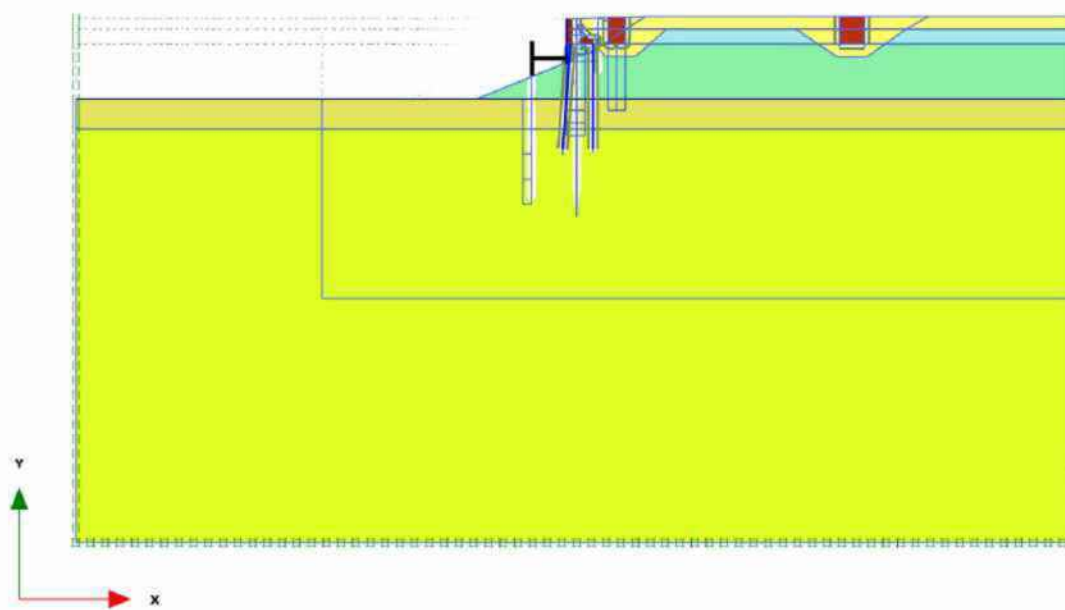
### 1.1.2.3 Calculation results, Init aanvullen achter walmuur (6/84), Fixities plot



**Fixities plot**

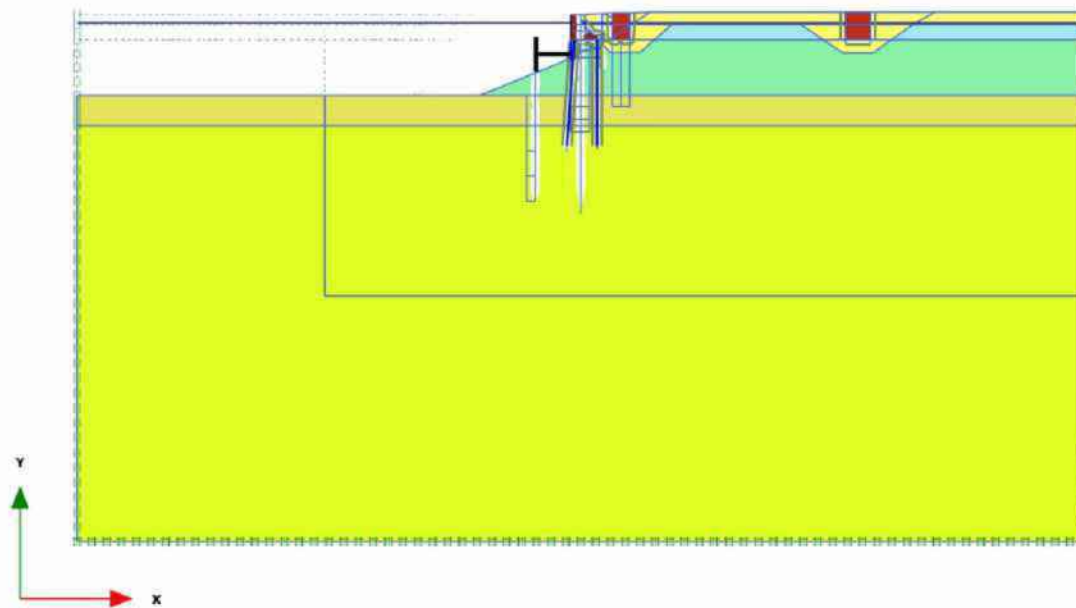


### 1.1.2.4 Calculation results, Init verlagen gws NAP -2,3m (aanleg riool) (7/104), Fixities plot



**Fixities plot**

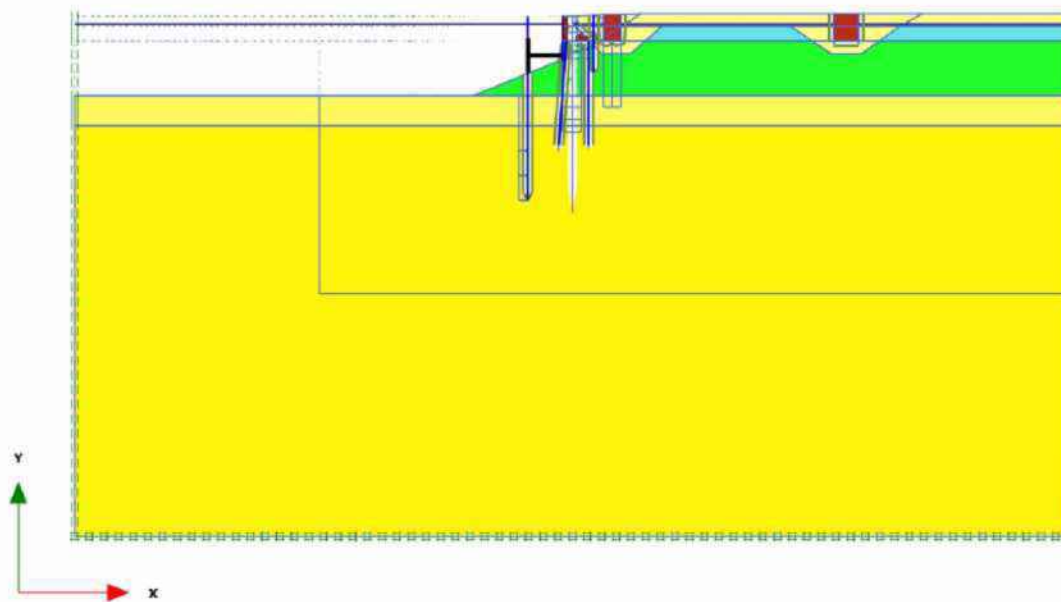
### 1.1.2.5 Calculation results, Init verhogen gws NAP +0,58m (8/110), Fixities plot



**Fixities plot**

### 1.1.2.6 Calculation results, 1 Plaatsen hulpdamwanden Fixities plot

(10/116),



**Fixities plot**

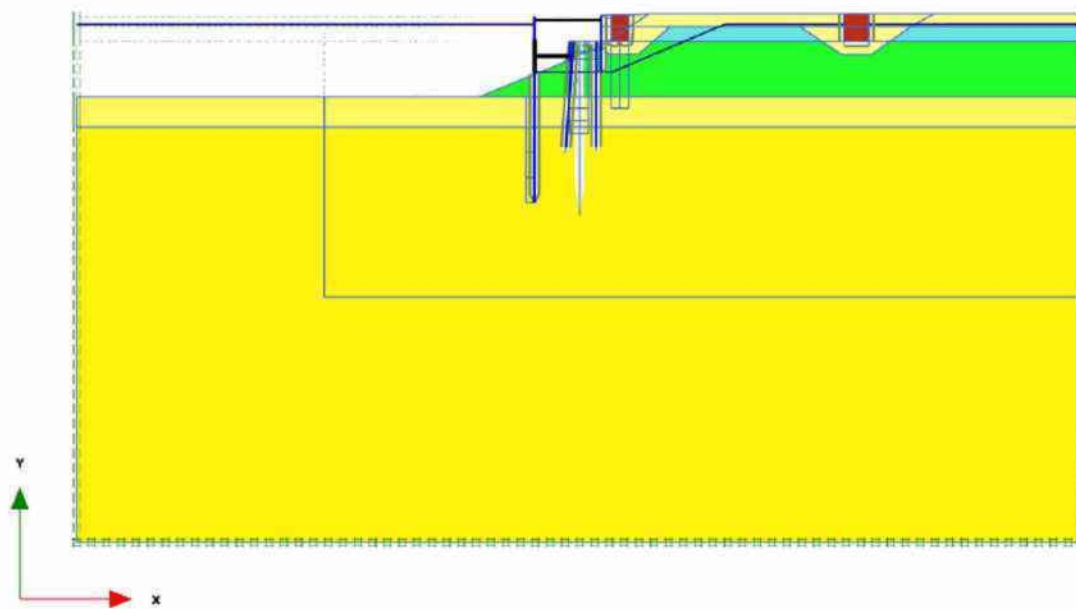
### 1.1.2.7 Calculation results, 3 Plaatsen stempel + verlagen gws tot NAP -1,5m (12/130), Fixities plot



**Fixities plot**

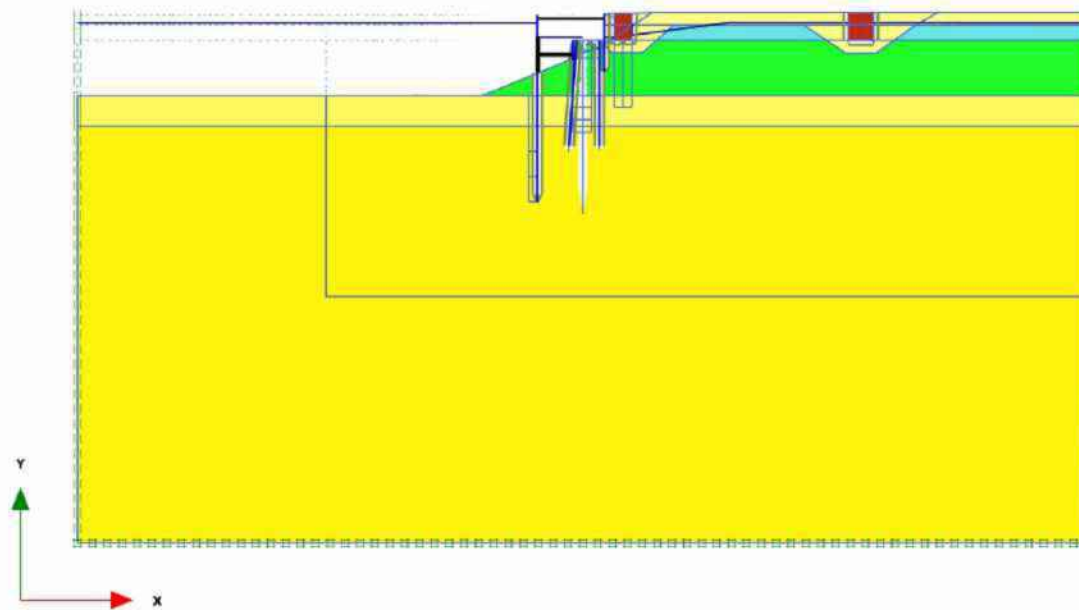


### 1.1.2.8 Calculation results, 4 Slopen walmuur tot NAP -0,8m (13/134), Fixities plot



**Fixities plot**

### 1.1.2.9 Calculation results, 5 Waterstand NAP +0,0m (14/140), Fixities plot



**Fixities plot**

### 1.1.2.10 Calculation results, 6 Plaatsen permanente dw (15/143), Fixities plot



**Fixities plot**

### 1.1.2.11 Calculation results, 9 verhogen ws NAP +0,58m (23/155), Fixities plot



**Fixities plot**



### 1.1.2.12 Calculation results, 2 Slopen walmuur t.b.v. plaatsen stempel (11/195), Fixities plot



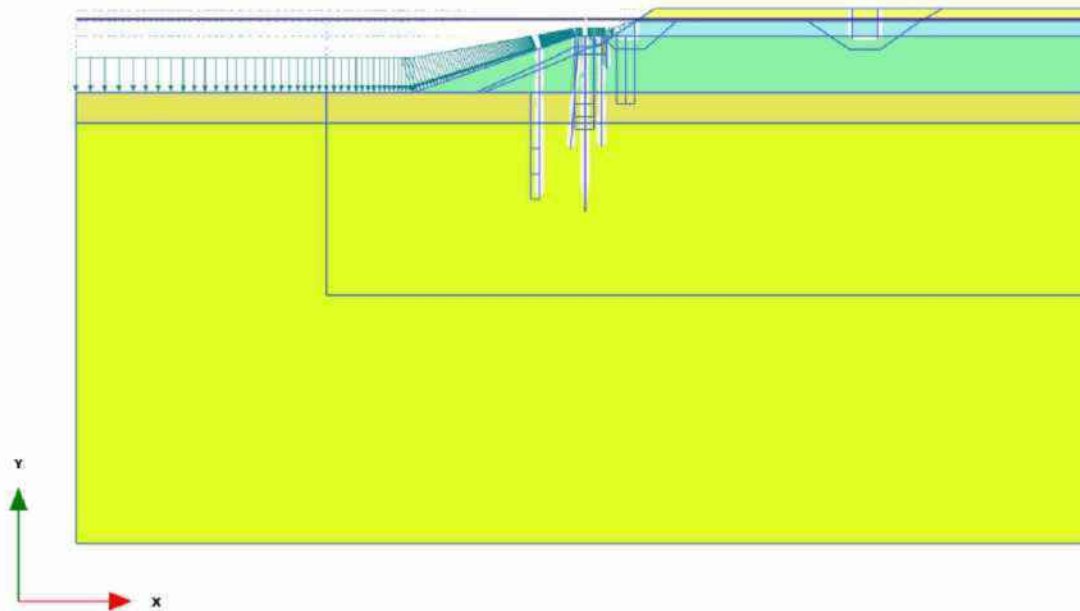
**Fixities plot**

### 1.1.2.13 Calculation results, 8 realisatie opstort beton + aanvullen (25/441), Fixities plot



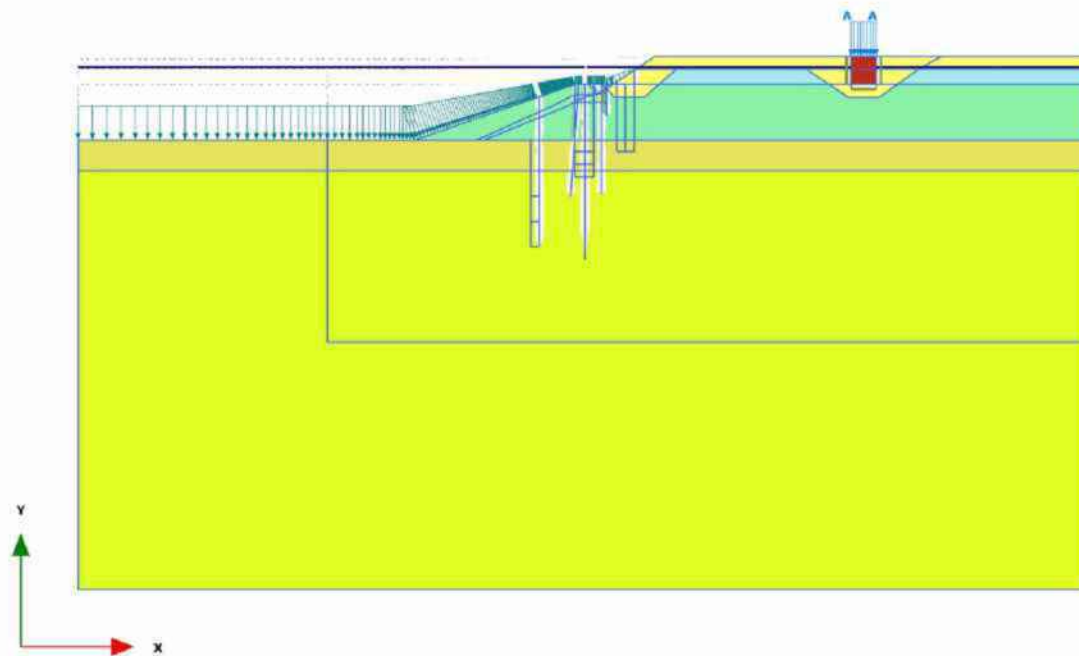
**Fixities plot**

### 1.1.3.1 Calculation results, Init talud (1/20), Active loads plot



**Active loads plot**

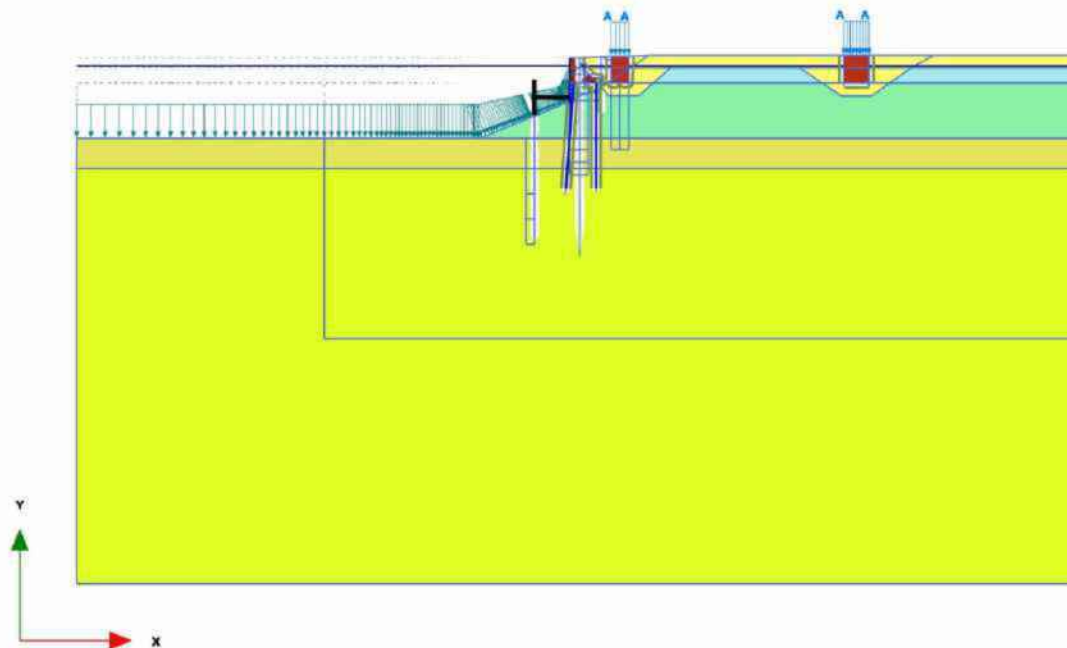
### 1.1.3.2 Calculation results, Init werfmuur (16/55), Active loads plot



**Active loads plot**

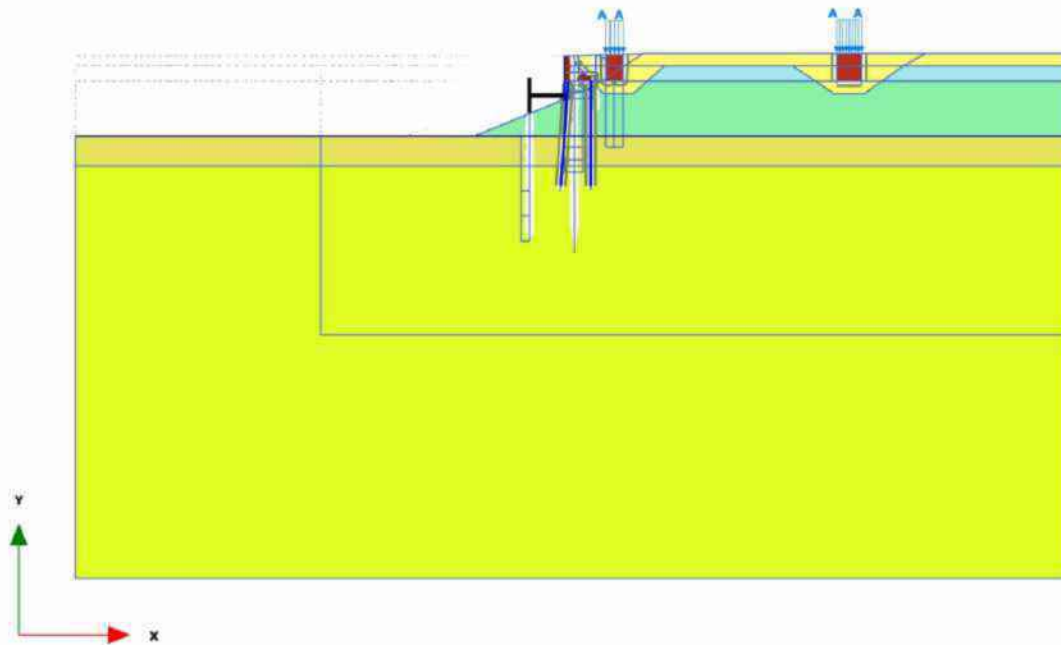


### 1.1.3.3 Calculation results, Init aanvullen achter walmuur (6/84), Active loads plot



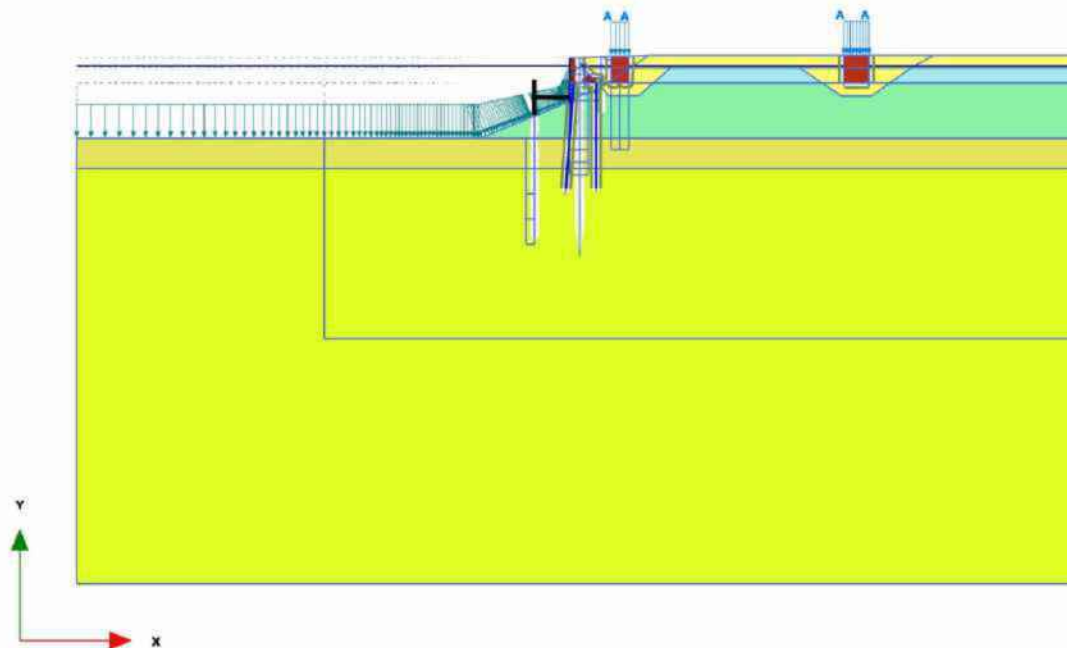
**Active loads plot**

### 1.1.3.4 Calculation results, Init verlagen gws NAP -2,3m (aanleg riool) (7/104), Active loads plot



**Active loads plot**

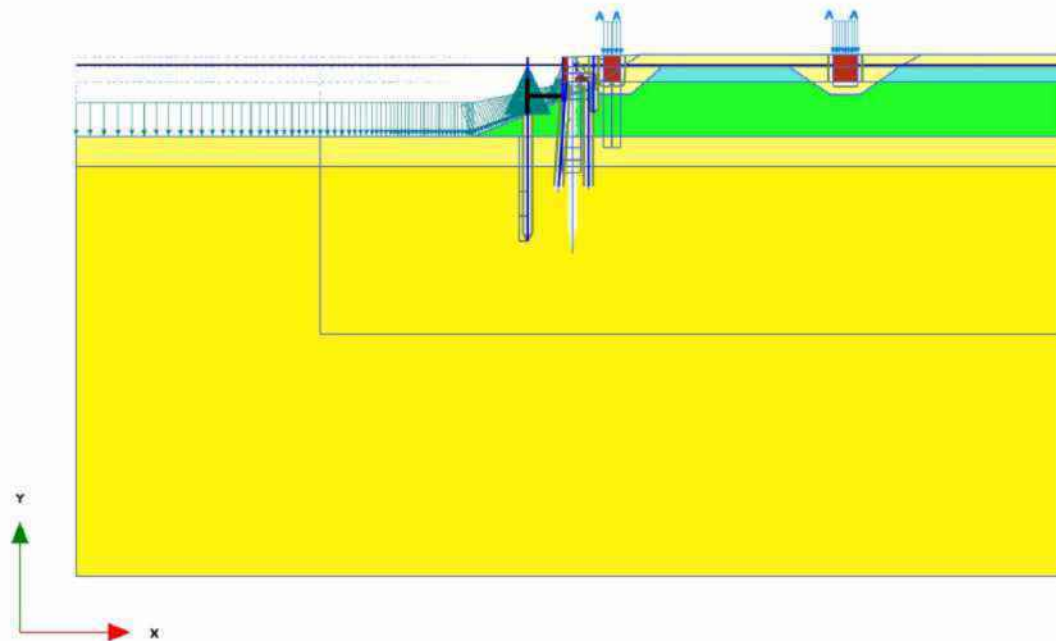
### 1.1.3.5 Calculation results, Init verhogen gws NAP +0,58m (8/110), Active loads plot



**Active loads plot**

### 1.1.3.6 Calculation results, 1 Plaatsen hulpdamwanden Active loads plot

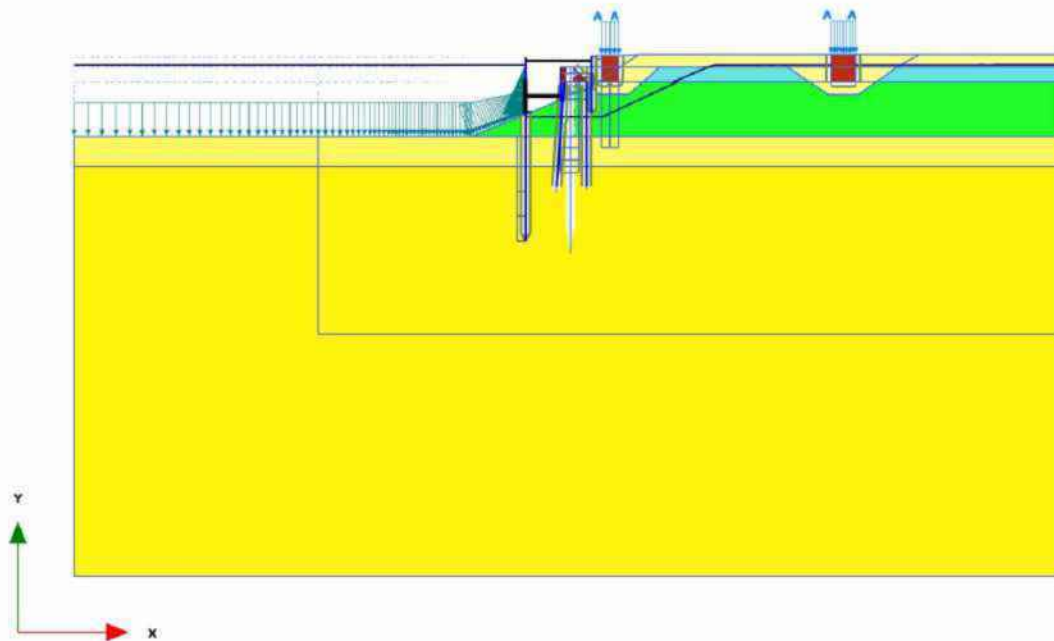
(10/116),



Active loads plot

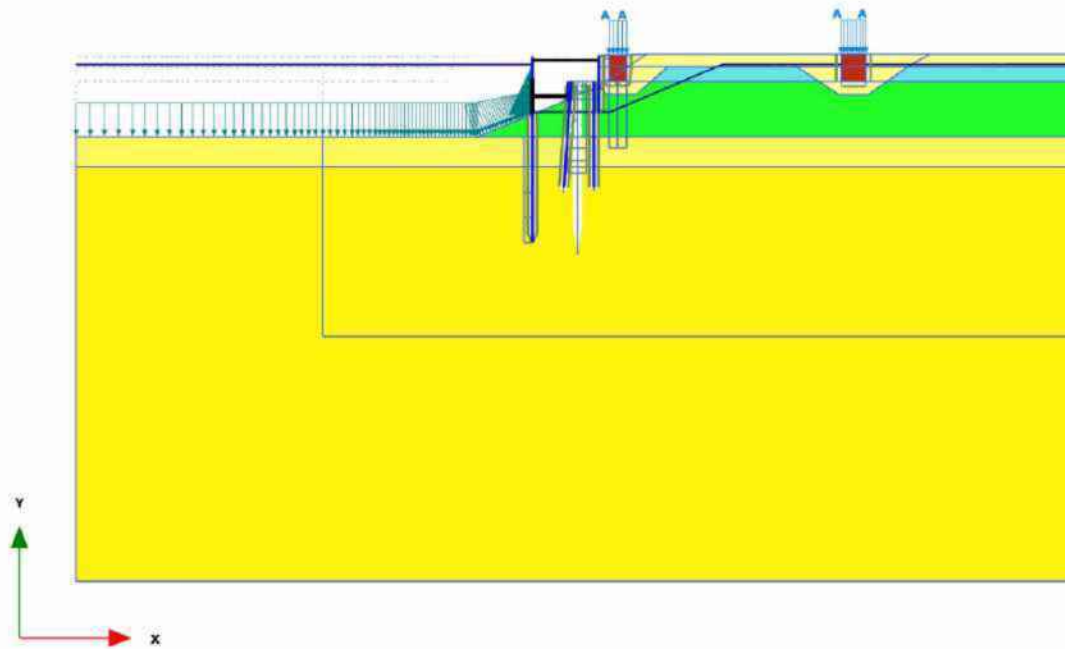


### 1.1.3.7 Calculation results, 3 Plaatsen stempel + verlagen gws tot NAP -1,5m (12/130), Active loads plot



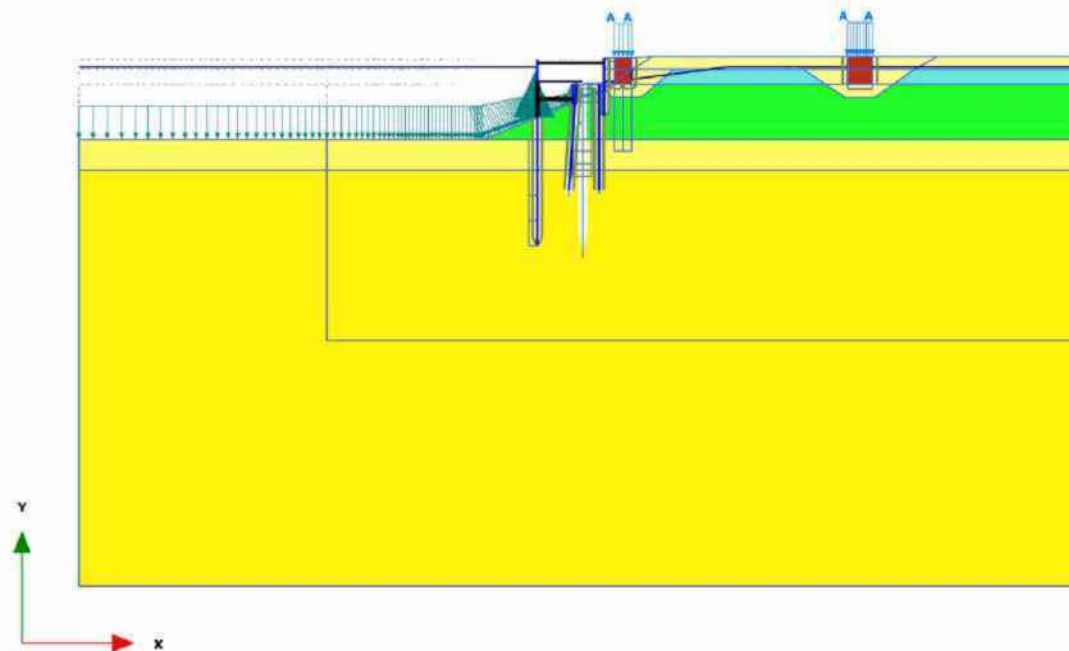
**Active loads plot**

### 1.1.3.8 Calculation results, 4 Slopen walmuur tot NAP -0,8m (13/134), Active loads plot



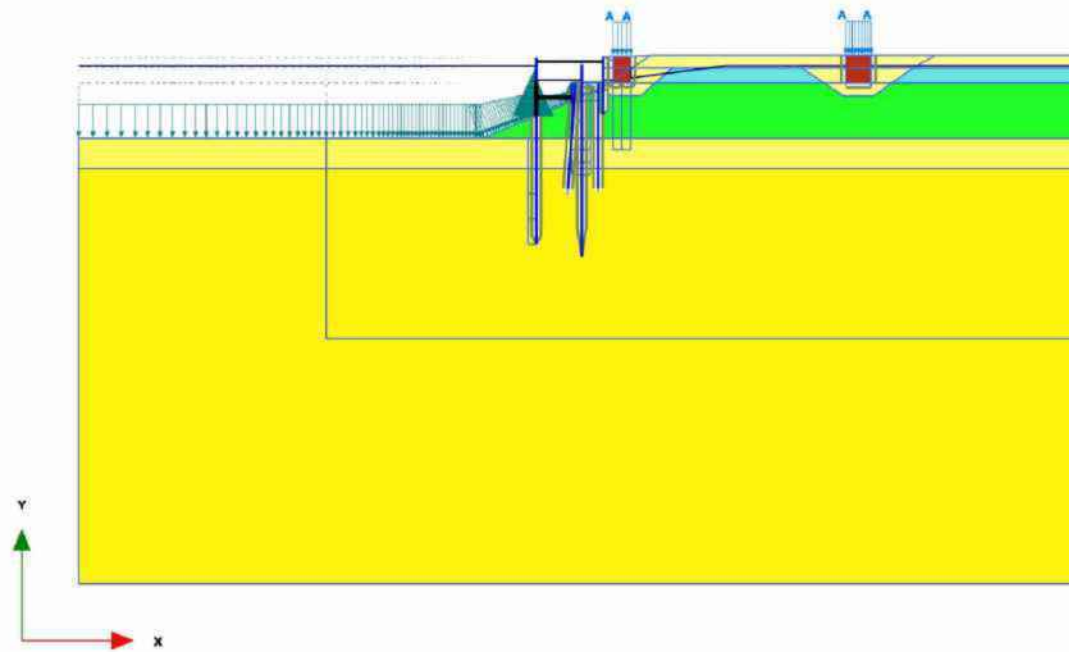
**Active loads plot**

### 1.1.3.9 Calculation results, 5 Waterstand NAP +0,0m (14/140), Active loads plot



**Active loads plot**

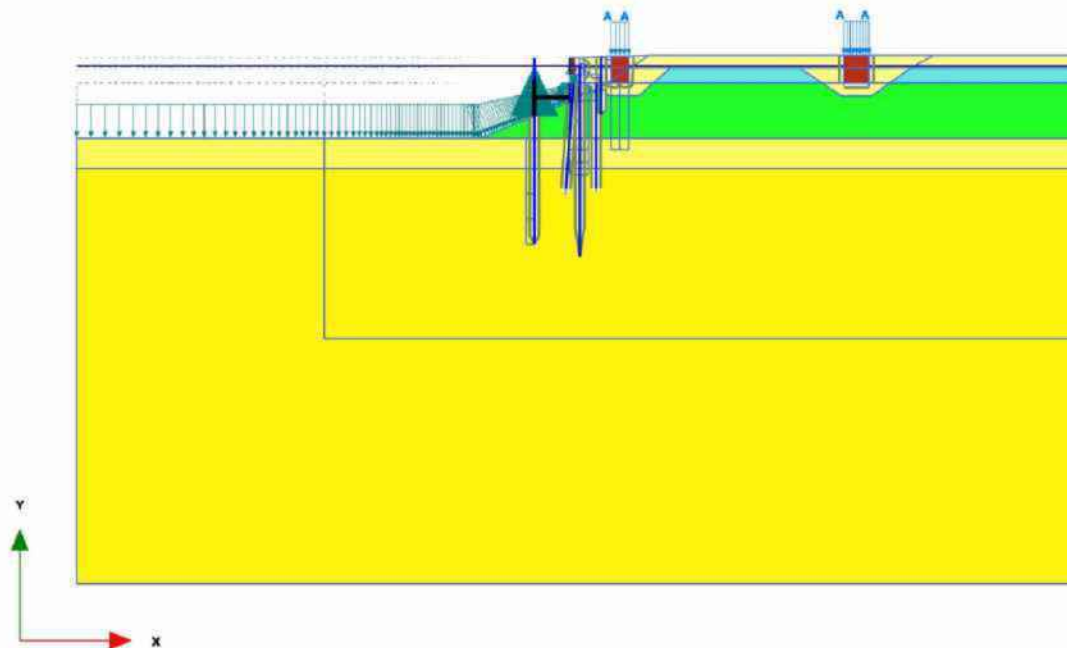
### 1.1.3.10 Calculation results, 6 Plaatsen permanente dw (15/143), Active loads plot



**Active loads plot**

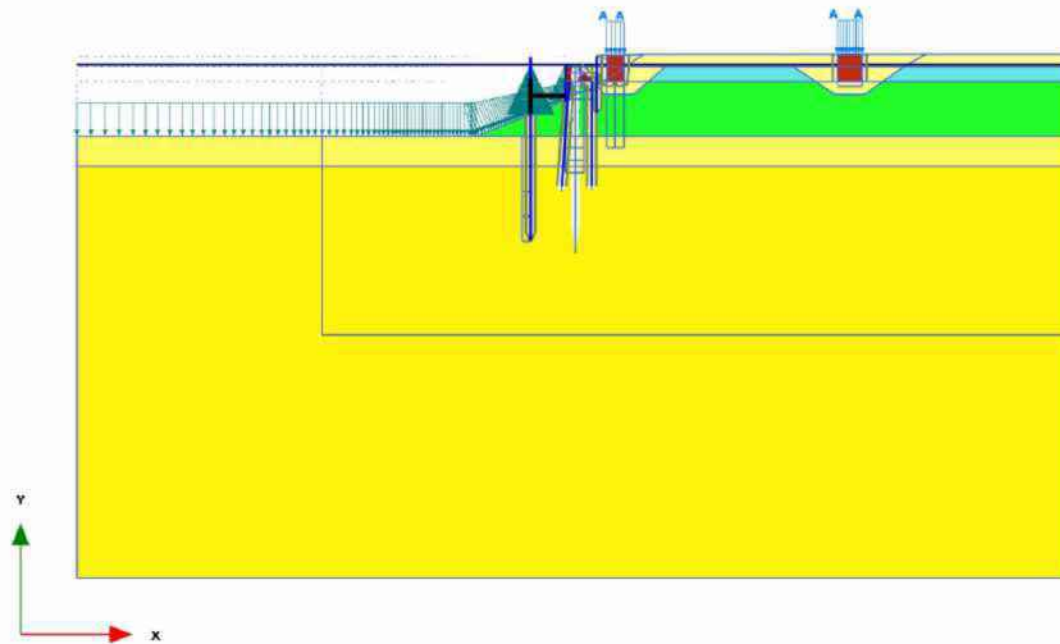


### 1.1.3.11 Calculation results, 9 verhogen ws NAP +0,58m (23/155), Active loads plot



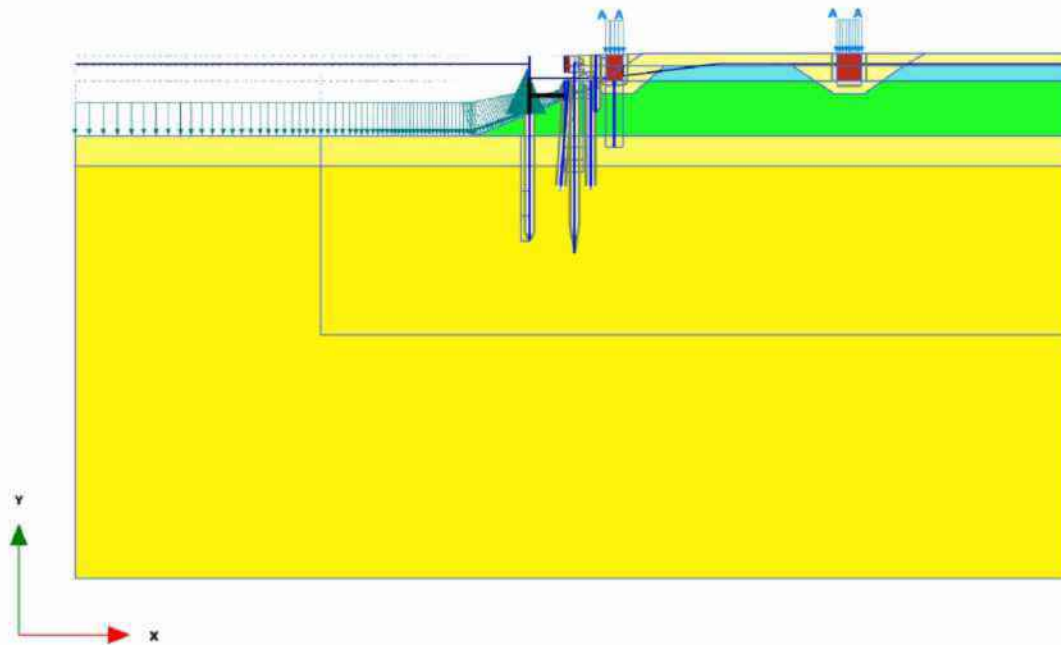
**Active loads plot**

### 1.1.3.12 Calculation results, 2 Slopen walmuur t.b.v. plaatsen stempel (11/195), Active loads plot






Active loads plot

### 1.1.3.13 Calculation results, 8 realisatie opstort beton + aanvullen (25/441), Active loads plot



**Active loads plot**

## 1.1.4.1.1 Materials - Soil and interfaces - Linear elastic

Identification		Metselwerk	Metselwerk walmuur	beton (riool)
Identification number		1	12	13
Drainage type		Non-porous	Non-porous	Drained
Colour				
Comments				
$\bullet \bullet_{unsat}$	$\text{kN/m}^3$	1,000	22,00	24,00
$\bullet \bullet_{sat}$	$\text{kN/m}^3$	1,000	22,00	24,00
Dilatancy cut-off		No	No	No
$e_{init}$		0,5000	0,5000	0,5000
$e_{min}$		0,000	0,000	0,000
$e_{max}$		999,0	999,0	999,0
Rayleigh $\bullet \bullet$		0,000	0,000	0,000
Rayleigh $\bullet \bullet$		0,000	0,000	0,000
E	$\text{kN/m}^2$	4,000E6	4,000E6	20,00E6
$\bullet \bullet(\nu)$		0,2000	0,2000	0,02000



Identification		Metselwerk	Metselwerk walmuur	beton (riool)
G	kN/m <sup>2</sup>	1,667E6	1,667E6	9,804E6
E <sub>oed</sub>	kN/m <sup>2</sup>	4,444E6	4,444E6	20,02E6
V <sub>s</sub>	m/s	4041	861,6	2001
V <sub>p</sub>	m/s	6600	1407	2859
Set to default values		Yes	Yes	Yes
E <sub>inc</sub>	kN/m <sup>2</sup> /m	0,000	0,000	0,000
y <sub>ref</sub>	m	0,000	0,000	0,000
Strength		Manual	Manual	Manual
R <sub>inter</sub>		0,6700	0,6700	0,6700
• • <sub>inter</sub>		0,000	0,000	0,000
K <sub>0</sub> determination		Automatic	Automatic	Automatic
K <sub>0,x</sub>		1,000	1,000	1,000
Data set		Standard	Standard	Standard
Type		Coarse	Coarse	Coarse
< 2 • m	%	10,00	10,00	10,00
2 • m - 50 • m	%	13,00	13,00	13,00
50 • m - 2 mm	%	77,00	77,00	77,00

Identification		Metselwerk	Metselwerk walmuur	beton (riool)
Set to default values		No	No	No
$k_x$	m/day	0,000	0,000	0,000
$k_y$	m/day	0,000	0,000	0,000
$\alpha_{\text{unsat}}$	m	10,00E3	10,00E3	10,00E3
$e_{\text{init}}$		0,5000	0,5000	0,5000
$c_k$		1,000E15	1,000E15	1,000E15

## 1.1.4.1.2 Materials - Soil and interfaces - Hardening soil

Identification		01 ZAND	02 KLEI	03 KLEI zandig/siltig	04 ZAND	05 ZAND
Identification number		2	3	4	5	6
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
Colour						
Comments						
$\sigma_{\text{brak}}$	kN/m <sup>2</sup>	17,00	16,00	18,00	17,00	18,00
$\sigma_{\text{d}}$	kN/m <sup>2</sup>	19,00	16,00	18,00	19,00	20,00
Dilatancy cut-off		No	No	No	No	No
$e_{\text{ref}}$		0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
$e_{\text{min}}$		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$e_{\text{max}}$		999,0	999,0	999,0	999,0	999,0
Rayleigh ••		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Rayleigh ••		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$E_{\text{so}}^{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	22,00E3	6000	10,00E3	20,00E3	40,00E3
$E_{\text{sed}}^{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	22,00E3	3000	5000	20,00E3	40,00E3
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	87,00E3	30,00E3	50,00E3	80,00E3	160,0E3
power (m)		0,5000	1,000	1,000	0,5000	0,5000






Identification		01 ZAND	02 KLEI	03 KLEI zandig/siltig	04 ZAND	05 ZAND
Use alternatives		No	No	No	No	No
$C_c$		0,01568	0,1150	0,06900	0,01725	8,625E-3
$C_s$		3,569E-3	0,01035	6,210E-3	3,881E-3	1,941E-3
$e_{ref}$		0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
$c_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	0,1000	1,000	0,1000	0,1000	0,1000
$\phi$	°	30,00	22,50	27,50	30,00	32,50
$\psi$	°	0,000	0,000	0,000	0,000	2,500
Set to default values		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$\sigma_r$		0,2000	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000
$p_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
$K_{b,inc}$		0,5000	0,6173	0,5383	0,5000	0,4627
$c_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$y_{ref}$	m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$R_f$		0,9000	0,9000	0,9000	0,9000	0,9000
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m <sup>2</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Strength		Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
$R_{inter}$		0,6700	0,6700	0,6700	0,6700	0,6700
$\sigma_{inter}$		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$K_{\phi}$ determination		Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic



plx007 walmuur rak 13\_hoog gefundeerd\_OG320\_geen maatreg

Identification		01 ZAND	02 KLEI	03 KLEI zandig/siltig	04 ZAND	05 ZAND
K <sub>0a</sub>		0,5000	0,6173	0,5383	0,5000	0,4627
OCR		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
POP	kN/m <sup>2</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Data set		Staring	Staring	Staring	Staring	Staring
Model		5.1.2e	5.1.2e	5.1.2e	5.1.2e	5.1.2e
Subsoil/Topsoil		Topsoil	Subsoil	Subsoil	Subsoil	Subsoil
Type		Non-loamy sand (B1)	Non-loamy sand (B1)	Non-loamy sand (B1)	Non-loamy sand (B1)	Non-loamy sand (B1)
Type		Non-loamy sand (O1)	Light clay (O11)	Silt loam (O9)	Non-loamy sand (O1)	Non-loamy sand (O1)
Set to default values		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
k <sub>x</sub>	m/day	0,2341	0,1382	0,02229	0,1521	0,1521
k <sub>y</sub>	m/day	0,2341	0,1382	0,02229	0,1521	0,1521
• • • • •	m	10,00E3	10,00E3	10,00E3	10,00E3	10,00E3
e <sub>int</sub>		0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
c <sub>v</sub>		1,000E15	1,000E15	1,000E15	1,000E15	1,000E15

## 1.1.4.1.3 Materials - Soil and interfaces - HS small





Identification		01 ZAND HSS	02 KLEI HSS	03 KLEI siltig HSS	04 ZAND HSS	05 ZAND HSS
Identification number		7	8	9	10	11
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
Colour						
Comments						
$\bullet \bullet_{inst}$	$\text{kN/m}^3$	17,00	16,00	18,00	17,00	18,00
$\bullet \bullet_{gr}$	$\text{kN/m}^3$	19,00	16,00	18,00	19,00	20,00
Dilatancy cut-off		No	No	No	No	No
$e_{int}$		0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
$e_{min}$		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$e_{max}$		999,0	999,0	999,0	999,0	999,0
Rayleigh $\bullet \bullet$		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Rayleigh $\bullet \bullet$		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$E_{50}^{ref}$	$\text{kN/m}^2$	22,00E3	6000	10,00E3	20,00E3	40,00E3
$E_{oed}^{ref}$	$\text{kN/m}^2$	22,00E3	3000	5000	20,00E3	40,00E3
$E_{ur}^{ref}$	$\text{kN/m}^2$	87,00E3	30,00E3	50,00E3	80,00E3	160,0E3
power (m)		0,5000	1,000	1,000	0,5000	0,5000

Identification		01 ZAND HSS	02 KLEI HSS	03 KLEI siltig HSS	04 ZAND HSS	05 ZAND HSS
Use alternatives		No	No	No	No	No
$C_c$		0,01568	0,1150	0,06900	0,01725	8,625E-3
$C_s$		3,569E-3	0,01035	6,210E-3	3,881E-3	1,941E-3
$e_{int}$		0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
$c_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	0,1000	1,000	0,1000	0,1000	0,1000
$\bullet \phi$	°	30,00	22,50	27,50	30,00	32,50
$\bullet \psi$	°	0,000	0,000	0,000	0,000	2,500
$\bullet \alpha$		0,1000E-3	0,2000E-3	0,2000E-3	0,1000E-3	0,1000E-3
$G_0^{int}$	kN/m <sup>2</sup>	112,0E3	60,00E3	80,00E3	100,0E3	170,0E3
Set to default values		Yes	No	No	Yes	No
$\bullet \sigma_c$		0,2000	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000
$p_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
$K_0^{inc}$		0,5000	0,6173	0,5383	0,5000	0,4627
$c_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$y_{ref}$	m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$R_f$		0,9000	0,9000	0,9000	0,9000	0,9000
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m <sup>2</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Failure criterion		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Strength		Manual	Manual	Manual	Manual	Manual

Identification		01 ZAND HSS	02 KLEI HSS	03 KLEI siltig HSS	04 ZAND HSS	05 ZAND HSS
$R_{inter}$		0,6700	0,6700	0,6700	0,6700	0,6700
$\alpha_{inter}$		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$K_{\phi}$ determination		Automatic	Manual	Manual	Automatic	Manual
$K_{\phi,30}$		0,5000	0,6173	0,5383	0,5000	0,4627
OCR		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
POP	$\text{kN/m}^2$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Data set		Staring	Staring	Staring	Staring	Staring
Model		5.1.2e	5.1.2e	5.1.2e	5.1.2e	5.1.2e
Subsoil/Topsoil		Topsoil	Subsoil	Subsoil	Subsoil	Subsoil
Type		Non-loamy sand (B1)	Non-loamy sand (B1)	Non-loamy sand (B1)	Non-loamy sand (B1)	Non-loamy sand (B1)
Type		Non-loamy sand (O1)	Light clay (O11)	Silt loam (O9)	Non-loamy sand (O1)	Non-loamy sand (O1)
Set to default values		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$k_x$	m/day	0,2341	0,1382	0,02229	0,1521	0,1521
$k_y$	m/day	0,2341	0,1382	0,02229	0,1521	0,1521
$\alpha_{\phi}$ $\alpha_{inter}$	m	10,00E3	10,00E3	10,00E3	10,00E3	10,00E3
$e_{int}$		0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
$c_k$		1,000E15	1,000E15	1,000E15	1,000E15	1,000E15



## 1.1.4.2 Materials - Plates -

Identification		L22	Houten fundering	hulpscherm	jetgrout (/1000)
Identification number		1	2	3	4
Comments					
Colour					
Material type		Elastoplastic	Elastic	Elastic	Elastic
Isotropic		Yes	Yes	Yes	Yes
$EA_x$	kN/m	3,308E6	229,0E3	100,0E6	1688
$EA_z$	kN/m	3,308E6	229,0E3	100,0E6	1688
EI	kN m <sup>2</sup> /m	33,02E3	464,0	100,0E6	79,00
d	m	0,3461	0,1559	3,464	0,7494
w	kN/m/m	1,220	0,000	0,000	0,000
$\nu$		0,000	0,000	0,000	0,000
$M_p$	kN m/m	249,0	1,000E15	1,000E15	1,000E15
$N_{p,1}$	kN/m	10,00E9	10,00E9	10,00E9	10,00E9
$N_{p,2}$	kN/m	10,00E9	10,00E9	10,00E9	10,00E9

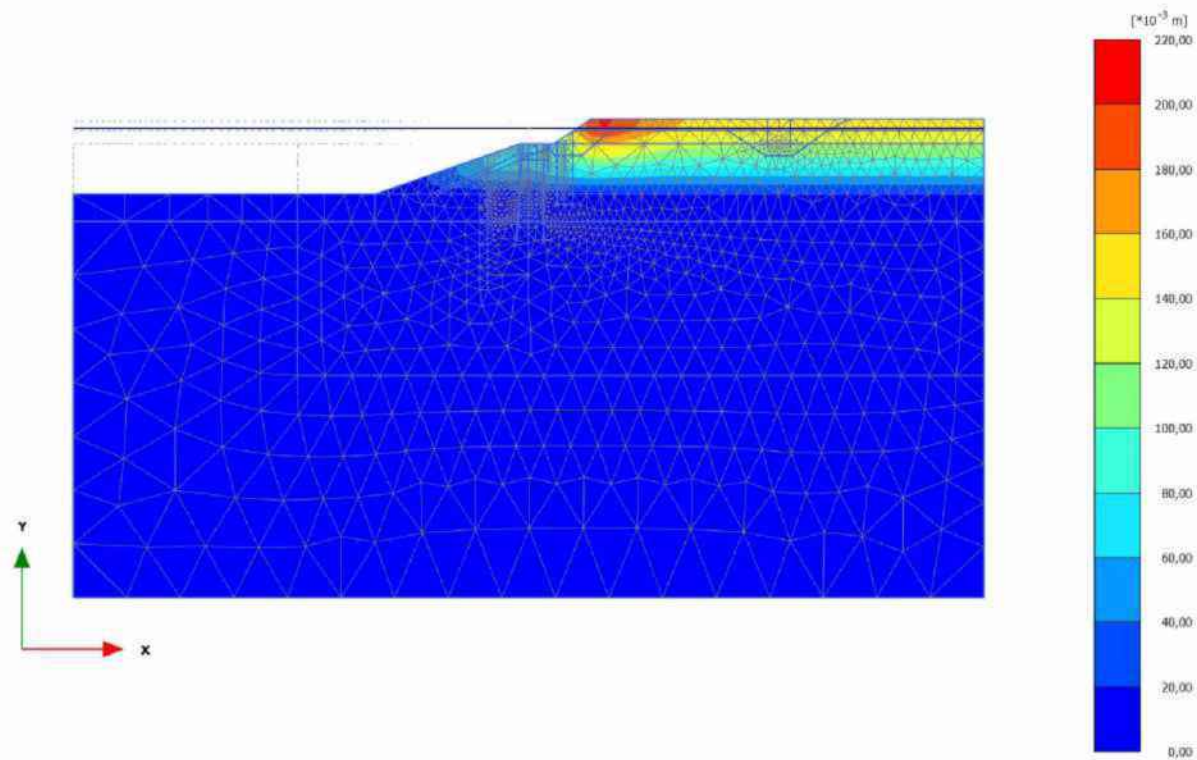
plx007 walmuur rak 13\_hoog gefundeerd\_OG320\_geen maatreg

Identification		L22	Houten fundering	hulpscherm	jetgrout (/1000)
Rayleigh ••		0,000	0,000	0,000	0,000
Rayleigh ••		0,000	0,000	0,000	0,000

## 1.1.4.3 Materials - Anchors -

Identification		stempel	stempel halve stijfheid	riool
Identification number		1	2	3
Comments		rond 200mm, wanddikte 9mm	rond 200mm, wanddikte 9mm	
Colour		■	■	■
Material type		Elastic	Elastic	Elastic
EA	kN	1,134E6	567,0E3	950,0
L <sub>spacing</sub>	m	1,000	1,000	1,000

### 2.1.1.1.1 Calculation results, Init talud (1/20), Total displacements $|u|$

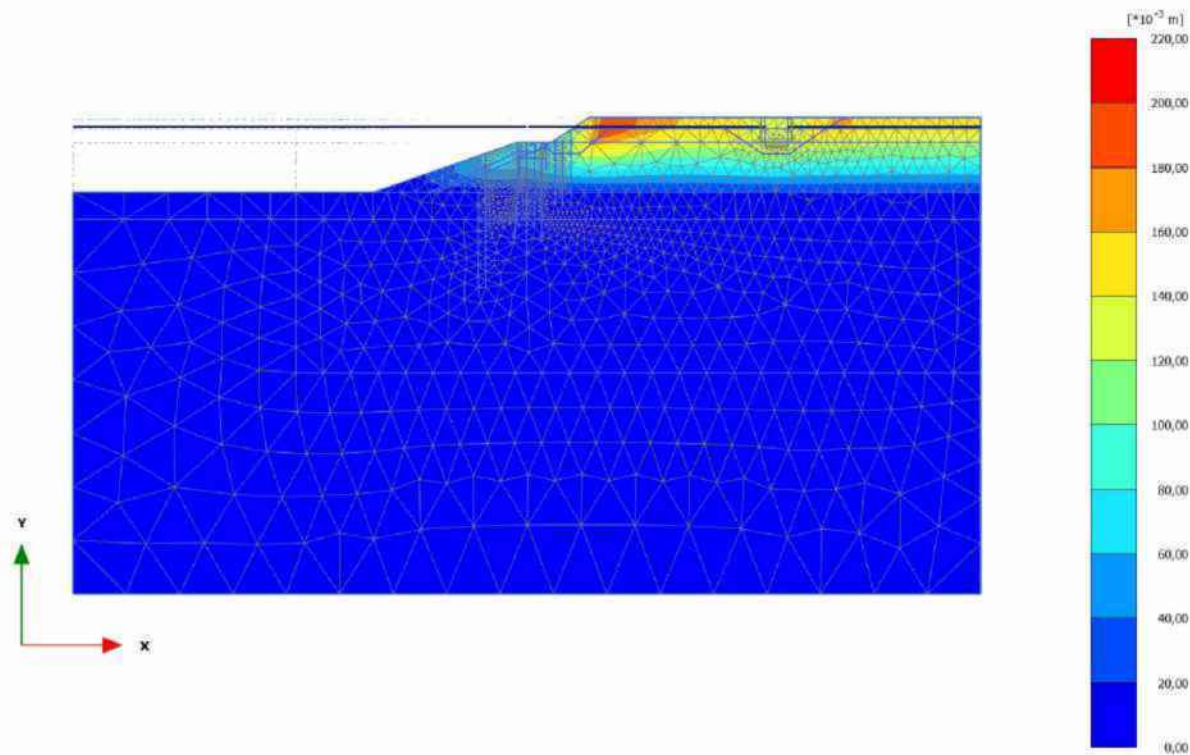


**Total displacements  $|u|$**

Maximum value = 0,2014 m (Element 2814 at Node 9968)



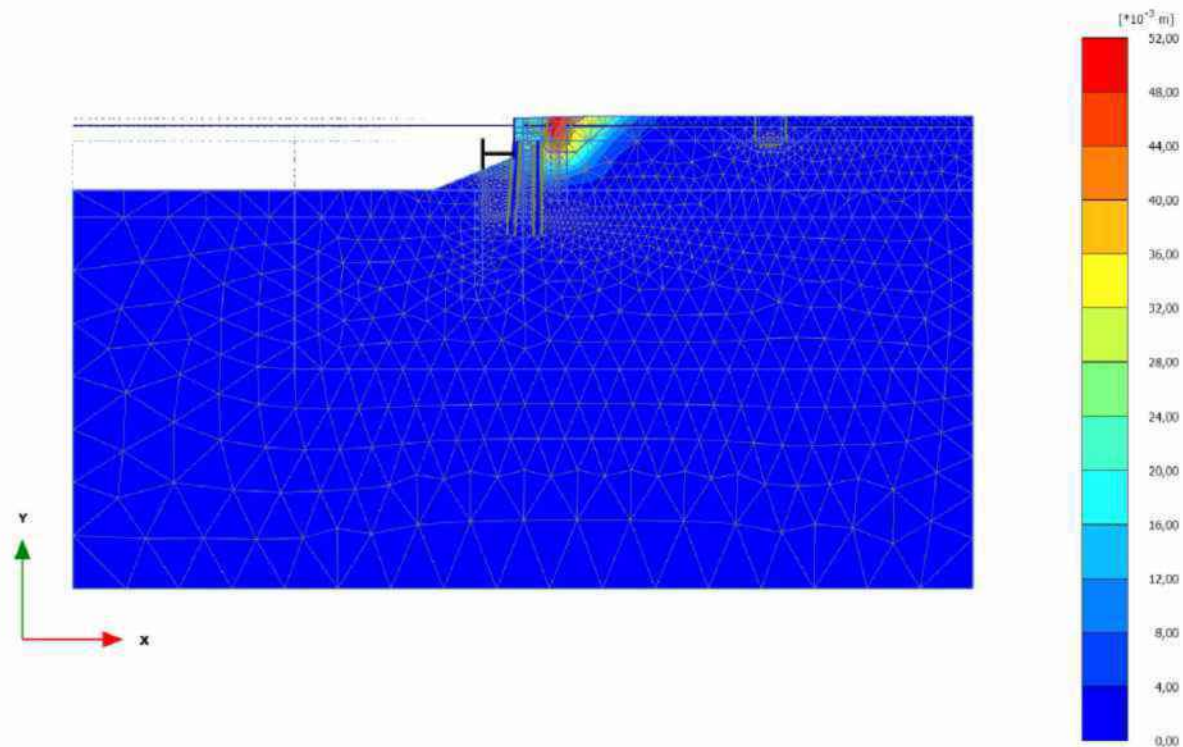
### 2.1.1.1.2 Calculation results, Init werfmuur (16/55), Total displacements $|u|$



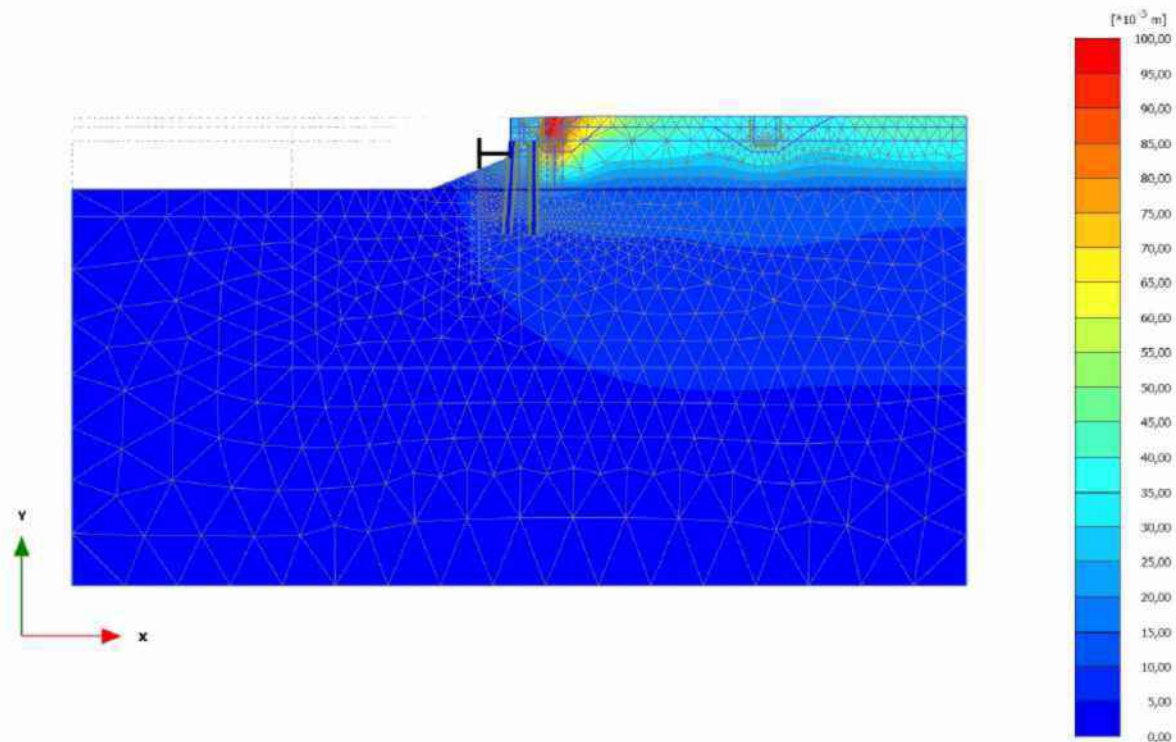
**Total displacements  $|u|$**

Maximum value = 0,2030 m (Element 2796 at Node 10224)

### 2.1.1.1.3 Calculation results, Init aanvullen achter walmuur (6/84), Total displacements $|u|$



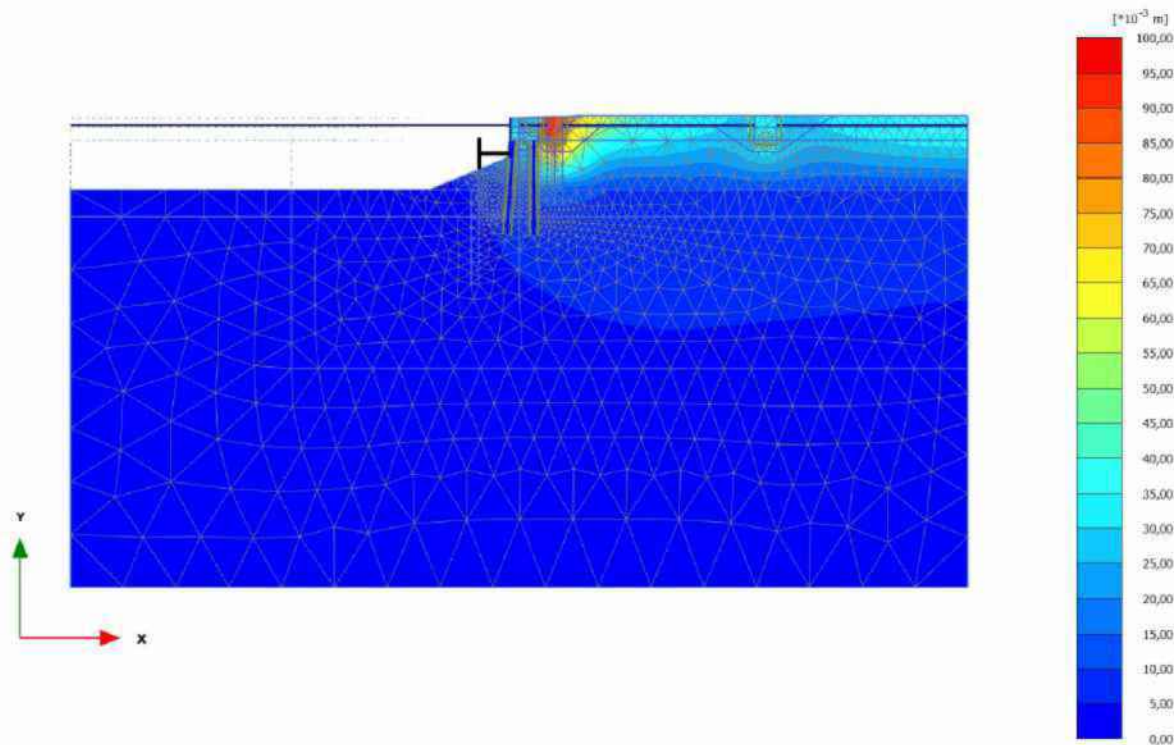
#### 2.1.1.1.4 Calculation results, Init verlagen gws NAP -2,3m (aanleg riool) (7/104), Total displacements $|u|$



**Total displacements  $|u|$**

Maximum value = 0,099978 m (Element 2784 at Node 13195)

## 2.1.1.1.5 Calculation results, Init verhogen gws NAP +0,58m (8/110), Total displacements $|u|$



**Total displacements  $|u|$**

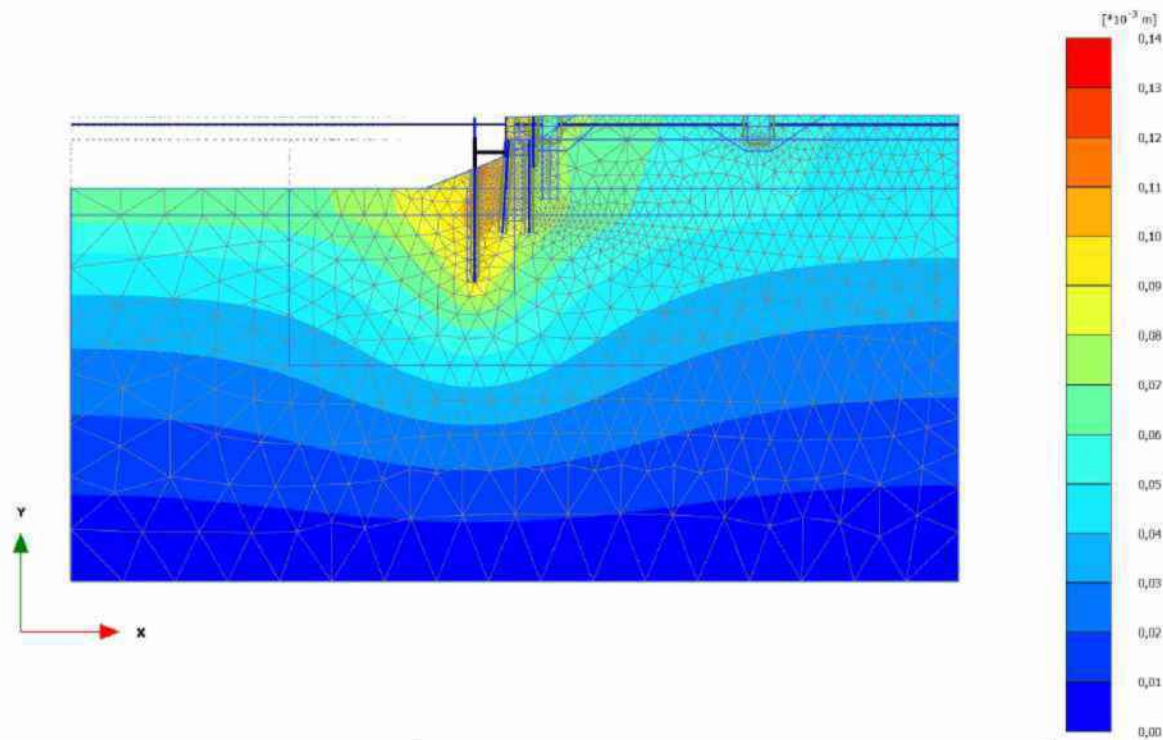
Maximum value = 0,09562 m (Element 2784 at Node 13195)



### 2.1.1.1.6 Calculation results, 1 Plaatsen hulpdamwanden

Total displacements  $|u|$

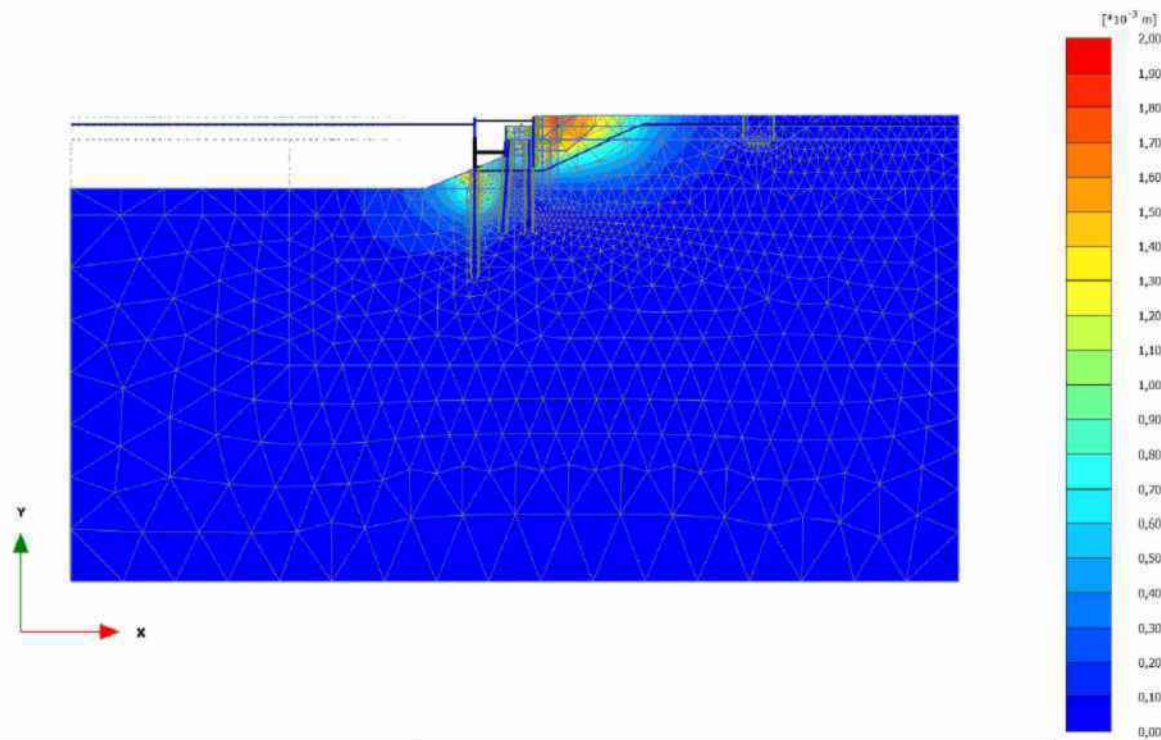
(10/116),



**Total displacements  $|u|$**

Maximum value =  $0,1372 \cdot 10^{-3} \text{ m}$  (Element 1463 at Node 23313)

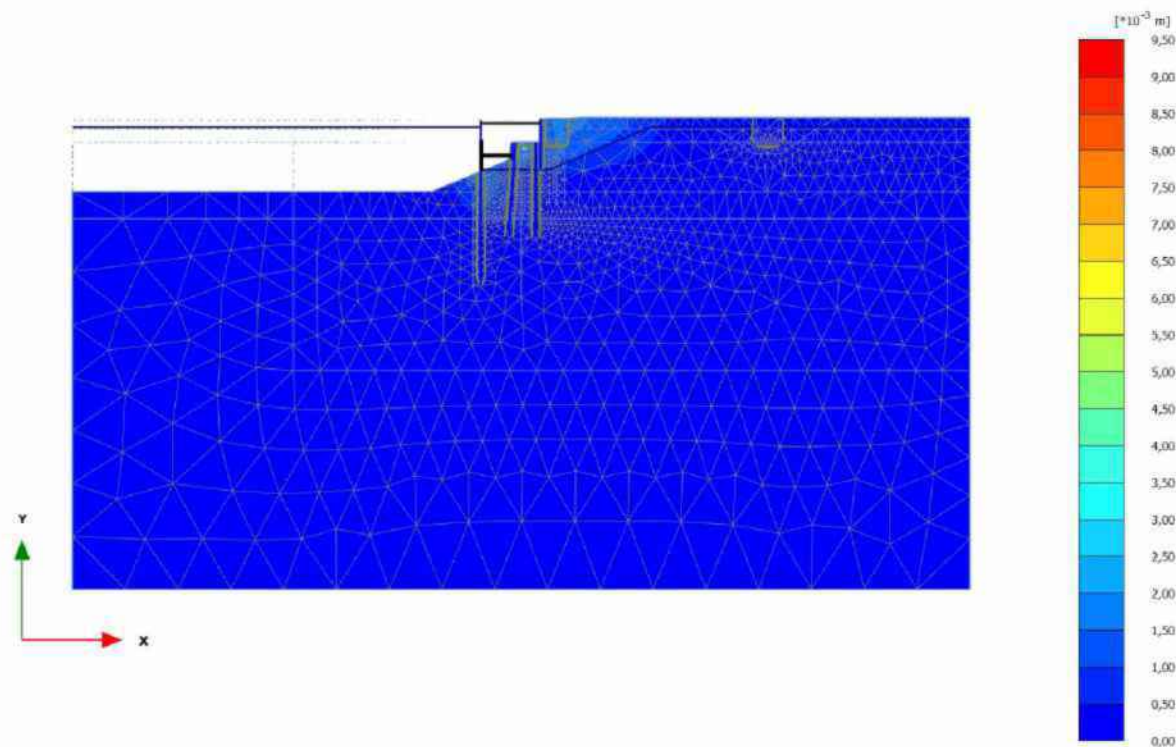
### 2.1.1.1.7 Calculation results, 3 Plaatsen stempel + verlagen gws tot NAP -1,5m (12/130), Total displacements |u|



**Total displacements |u|**

Maximum value =  $1,974 \cdot 10^{-3} \text{ m}$  (Element 2778 at Node 14866)

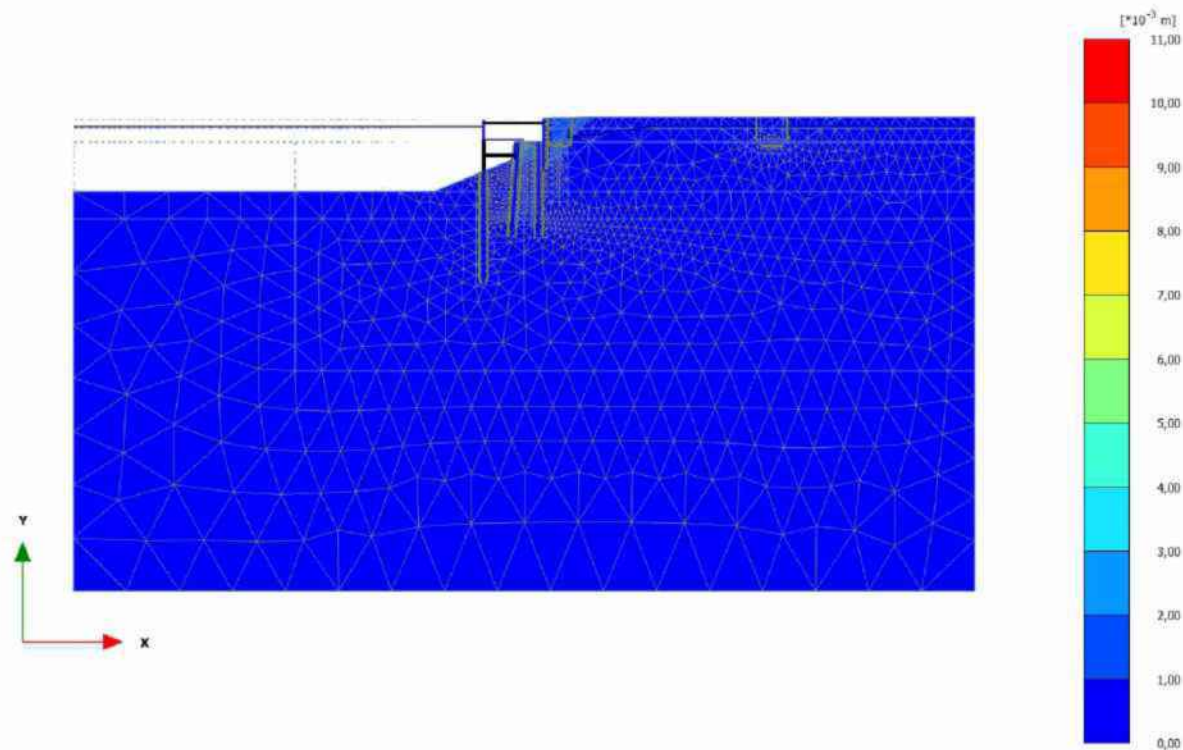
### 2.1.1.1.8 Calculation results, 4 Slopen walmuur tot NAP -0,8m (13/134), Total displacements |u|



**Total displacements |u|**

Maximum value =  $9.123 \times 10^{-3}$  m (Element 2328 at Node 22480)

### 2.1.1.1.9 Calculation results, 5 Waterstand NAP +0,0m (14/140), Total displacements $|u|$



**Total displacements  $|u|$**

Maximum value = 0,01055 m (Element 2337 at Node 21600)